WASSERSTOFF- UND BRENNSTOFFZELLENTECHNOLOGIE



Aufbauanleitungen und Experimentiervorlagen

TUTORIAL Student Set & TUTORIAL Teacher Set

Allgemeine Sicherheitshinweise

- Die Geräte dürfen nur von einer sachkundigen Person in Betrieb genommen und betrieben werden.
- ACHTUNG! Nicht geeignet für Kinder unter 12 Jahren!
- Die Bedienungsanleitung ist vor Inbetriebnahme zu lesen, zu beachten und nachschlagebereit zu halten.
- Das Gerät darf nur mit dafür vorgesehenen h-tec Solarmodulen (h-tec Solar Module Basic, Art.-Nr. 2086; Solar Module Tutorial, Art.-Nr. A113; Solar Module Tutorial Double, Art.-Nr. A118) oder h-tec Steckernetzteilen (h-tec PowerSupply, Art.-Nr. 2033) betrieben werden!
- Tragen Sie eine Schutzbrille.
- Geräte und Gase sind außerhalb der Reichweite kleiner Kinder aufzubewahren und zu betreiben.
- Steckernetzteile sind kein Spielzeug!
- Gerät vor der Reinigung mit Flüssigkeiten vom Steckernetzteil bzw. dem Solarmodul trennen!
- Anschlussklemmen dürfen, soweit nicht anders angegeben, nicht verpolt oder kurzgeschlossen werden.
- Die Geräte dürfen nicht leer betrieben werden. Achten Sie immer auf eine ausreichende Wassermenge in den Geräten. Beachten Sie Füllhöhen-Markierungen für Wasserstände.
- Entfernen Sie brennbare Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten aus dem Umkreis von Brennstoffzellen und Elektrolyseuren. Die enthaltenen katalytischen Stoffe können eine Selbstentzündung auslösen.
- Aus den Geräten können Wasserstoff und Sauerstoff austreten. Verhindern Sie, dass sich die Gase ansammeln und explosionsfähige Gemische bilden, indem Sie die Geräte nur in gut gelüfteten Räumen verwenden.
- Die Geräte dürfen nur dann in Vitrinen betrieben werden, wenn eine ausreichende Belüftung unter allen Umständen sichergestellt ist. Der Betreiber hat dies durch entsprechende Messungen nachzuweisen.
- Entfernen Sie alle Stoffe, die eine Entzündung des Wasserstoffs auslösen können, aus der Nähe der Geräte (offenes Feuer, Stoffe mit möglicher elektrostatischer Aufladung, katalytisch wirkende Stoffe).
- Entfernen Sie alle Stoffe, die sich bei erhöhter Sauerstoffkonzentration selbst entzünden können, aus der Umgebung der Geräte.
- Rauchen Sie nicht.
- Schläuche, Stopfen und Gasspeicher dienen dem Druckausgleich. Sie dürfen nicht mit Klemmen, Klebstoff oder durch sonstige Mittel fixiert oder befestigt werden.
- Nutzen Sie zur Gasspeicherung ausschließlich die zu den Geräten gehörenden bzw. mitgelieferten Gasspeicher. Schließen Sie niemals andere Gasspeicher an.
- Die Geräte dürfen nur bei Raumtemperatur und Umgebungsdruck betrieben werden.
- Bei Betrieb von Solarmodulen und Leuchten ist der Mindestabstand zu beachten. Dieser beträgt zwischen h-tec Solarmodulen und den h-tec Leuchten Videolight 30 cm und Spotlight 50 cm. Bei Verwendung von Leuchten anderer Hersteller ist der dort angegebene Mindestabstand zu beachten.
- Die Oberfläche von Solarmodulen kann sich nach längerem Betrieb stark erwärmen.
- Informieren Sie Ihre Schüler über mögliche Gefahren und beaufsichtigen Sie die Versuchsdurchführung.
- Bei Missachtung dieser Sicherheitshinweise übernimmt h-tec keine Verantwortung für entstandene Schäden.

---

h-tec-Zellen sind funktionsabhängig farblich eindeutig gekennzeichnet.

gelb: reversible Brennstoffzelle, die auch als Elektrolyseur verwendet werden kann

blau: Elektrolyseur

rot: Brennstoffzelle



Häufig verwendete Abkürzungen:

BZ: Brennstoffzelle

EL: Elektrolyseur

RFC: Reversible Fuel Cell. Reversible Brennstoffzelle, die auch als Elektrolyseur verwendet werden kann

DMFC: Direct Methanol Fuel Cell (Direkt-Methanol-Brennstoffzelle)

PEM: Proton Exchange Membrane (Protonen-Austausch-Membran)



Inhalt

Ihre Aufsichtspflicht

Diese Bedienungsanleitung ist für die verantwortliche Aufsichtsperson bestimmt.

- Lesen Sie die Bedienungsanleitung vor Gebrauch, befolgen Sie den Inhalt und halten Sie die Anleitung nachschlagebereit.
- Befassen Sie sich insbesondere mit den allgemeinen Sicherheitshinweisen.
- Dieses Produkt ist nur unter Anleitung der verantwortlichen Aufsichtsperson in Betrieb zu nehmen und zu betreiben.

Ziel / Einleitung

Der prognostizierte Klimawandel kombiniert mit dem weltweit steigenden Energiebedarf und den rückläufigen Ressourcen an Kohle, Öl und Gas machen die Erschließung neuer Energiequellen zu einer der Hauptaufgaben des 21. Jahrhunderts. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Wasserstofftechnologie zu. Mit Hilfe von Brennstoffzellen lässt sich aus Wasserstoff und Sauerstoff direkt Strom erzeugen. Das einzige Abfallprodukt: Wasser. Mit Hilfe von Strom, der beispielsweise aus Solarzellen gewonnen wird, kann der benötigte Wasserstoff wiederum direkt aus Wasser durch Spaltung in Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt werden. Das zugrunde liegende Prinzip nennt sich Elektrolyse. Gemeinsam bilden beide Verfahren den solaren Wasserstoffkreislauf.

Die im vorliegenden Set enthaltenen Zellen können beides: Strom erzeugen und Wasserstoff produzieren. Mit einfachen Experimenten lassen sich alle Stufen des solaren Wasserstoffkreislaufes anschaulich erklären. Ein einfaches Prinzip, das im kleinen wie im großen Maßstab funktioniert und dabei Ressourcen schont und die Umwelt entlastet. Kein Wunder also, dass alle Experten der Brennstoffzellentechnologie beste Zukunftsaussichten prognostizieren.

In dieser Anleitung werden Aufbau, Inbetriebnahme und Funktionsweise des Tutorial Student Set sowie des Tutorial Teacher Set erläutert. Darüber hinaus finden Sie zahlreiche Experimente und Vorschläge für den Einsatz der Geräte im Unterricht.

Spannende Experimente und interessante Einblicke in die Zukunft der Energieversorgung wünscht Ihnen das Team der

h-tec
Wasserstoff-Energie-Systeme GmbH

Bestimmungsgemäße Verwendung

Mit den in dieser Anleitung beschriebenen Geräten lassen sich die Funktionsweisen von PEM-Brennstoffzellen (PEM = Proton Exchange Membrane = Protonen-Austausch-Membran) und PEM-Elektrolyseuren demonstrieren und messtechnisch erfassen. Die Geräte sind ausschließlich für Lehr- und Demonstrationszwecke entwickelt worden.

Jede andere Verwendung ist unzulässig.

ACHTUNG!

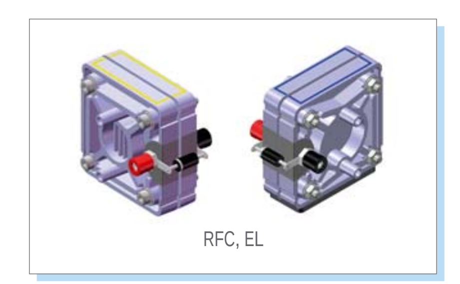
In Brennstoffzellen reagieren Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) miteinander. Bei unsachgemäßer Handhabung stellen diese Gase eine Gefahrenquelle dar. Um Gefahren vorzubeugen, beachten Sie beim Betrieb der Geräte unbedingt die Sicherheitshinweise.

Verwendung der Experimentiervorlagen

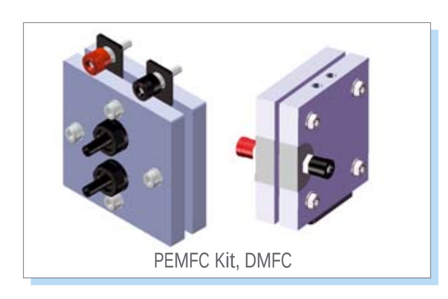
Alle Bauteile sind mit Magneten versehen. Werden die Experimentiervorlagen auf die im Ordner befindliche Metallplatte gelegt, lässt sich der Aufbau der Experimente sicher und problemlos realisieren. Setzen Sie dazu die jeweiligen Bauteile auf die dafür gekennzeichneten Stellen der Experimentiervorlagen.



Inhalt des Koffers


RFC, EL

1x Reversible Brennstoffzelle RFC H_2/O_2/Luft
Art.-Nr. R103
1x Elektrolyseur Electrolyser Cell5
Art.-Nr. E103


PEMFC Kit, DMFC

1x Zerlegbare Brennstoffzelle PEMFC Kit
Art.-Nr. 1919
1x Direkt-Methanol-Brennstoffzelle DMFC
Art.-Nr. 2115
(nur im Teacher-Set enthalten)



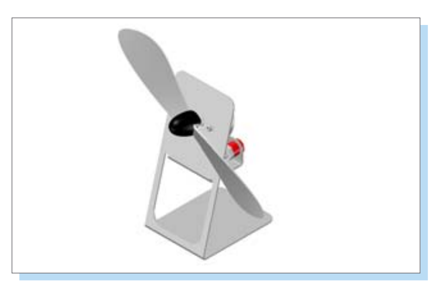
2x Gasspeicher Storage 30 Art.-Nr. A103

Die Gasspeicher sind mit einer Skala am Tank selbst sowie zwei Füllstandsmarkierungen am Ausgleichsbehälter versehen. Bei Verwendung der Gasspeicher im reversiblen Betrieb (Elektrolysemodus und Brennstoffzellenmodus; Versuche 6 und 7) verwenden Sie die obere Markierung. Die untere Markierung ist ausschließlich für den Brennstoffzellenbetrieb (Versuche 3, 4 und 5) vorgesehen.

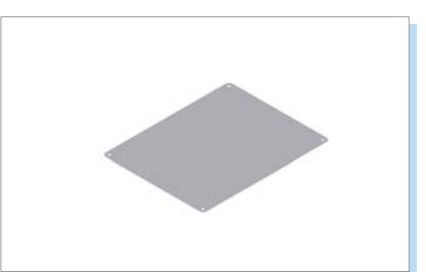
Hinweis: Halten Sie sich beim Befüllen der Speicher in jedem Fall an die Aufbauanleitung.



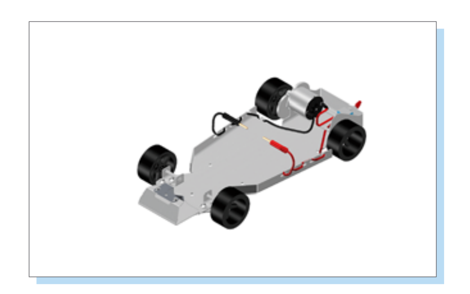
1x Solarmodul Solar Module Tutorial
Art.-Nr. A113



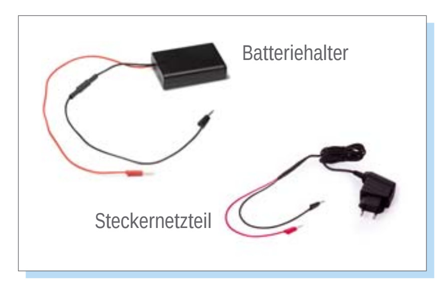
1x Ventilator Fan Tutorial Art.-Nr. A105



1x Grundplatte Experimentation Plate
Art.-Nr. A111



1x Chassis Vehicle Plate Art.-Nr. A107

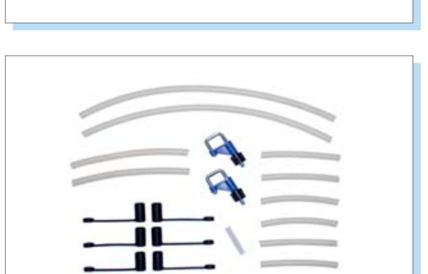


1x Batteriehalter BatteryBox Art.-Nr. A115
1x Steckernetzteil PowerSupply Art.-Nr. 2033



4x Verbindungskabel 2 mm Art.Nr. A130/A131

4x Adapter 2 mm auf 4 mm Sicherheits-
buchsen Art.Nr. A122



1x Schläuche TubeSet Art.-Nr. A121



5x Magnetische Wandhalter Tutorial Holder Set
Art.-Nr. A127
(nur im Teacher-Set enthalten)



6x Verschlusskappe für Gasanschluss
Art.-Nr. A123
1x Stöpsel zum Verschließen des Lufteinlasses
Art.-Nr. A124

sowie 1x Begleitbuch „Brennstoffzellen im Unterricht“ Art.-Nr. 2066, 1x Wasserflasche 250 ml Art.-Nr. A126, 1x Schutzbrille, 1x 3%ige Methanollösung und Pipette (nur bei Lieferungen innerhalb Europas)



Versuch 1: Solarenergie

Übersicht

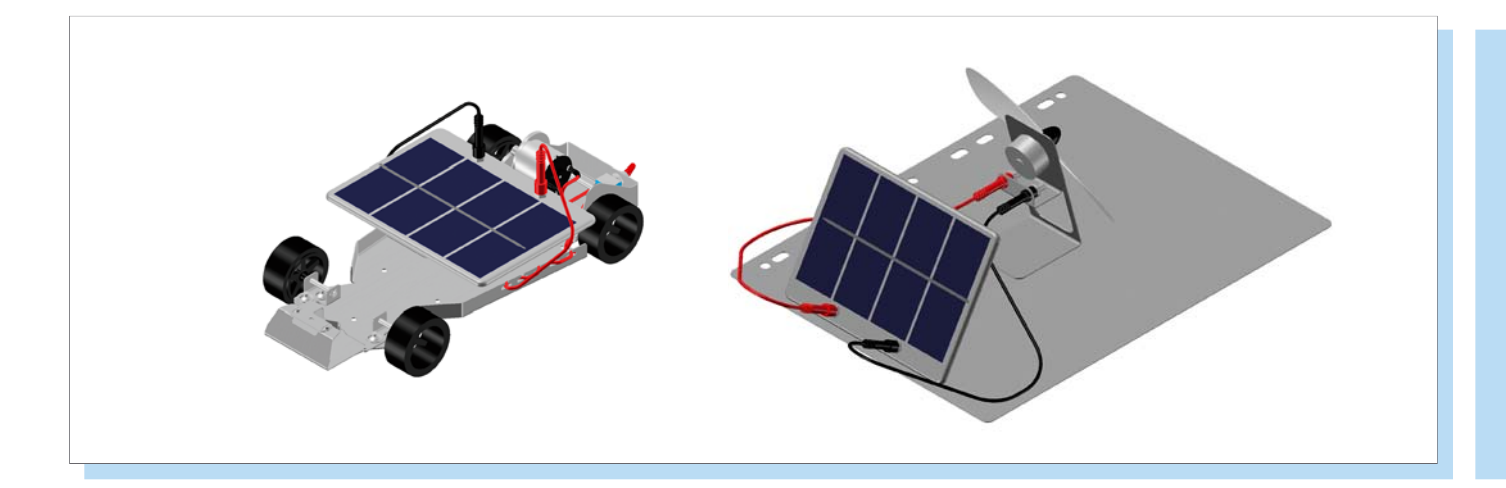
Ziel des Versuchs ist es, mit Hilfe des Solarmoduls Lichtenergie in elektrische Energie umzuwandeln. Der elektrische Verbraucher dient der Ver-anschaulichung.

Aufbaudauer: ca. 1 Minute

Versuchslänge: ca. 1 Minute

Versuche aus dem Begleitbuch

- Strom-Spannungs-Kennlinie, Leistungskurve und Wirkungsgrad des Solarmoduls (2.2.)



Geräte und Material

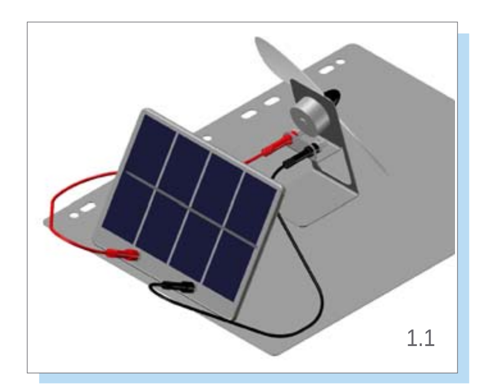
Für den Versuch benötigen Sie:

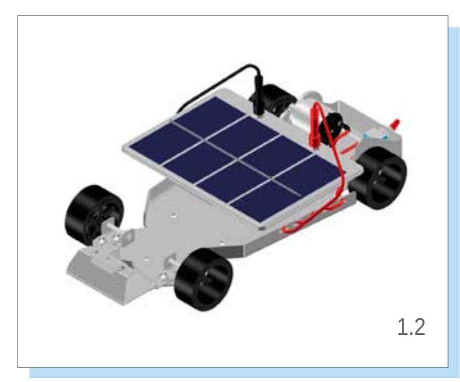
- 1x Solarmodul
- 1x Ventilator
- 1x Grundplatte bzw. Chassis
- 1x Lichtquelle (z.B. h-tec Spotlight)
- 2x Verbindungskabel 2 mm ggf. 2x Adapter von 2 mm auf 4 mm Sicherheitsstecker

Aufbau / Einrichtung

1. Setzen Sie die Solarzelle und den Ventilator auf die Grundplatte (**Abb. 1.1**) bzw. setzen Sie die Solarzelle auf das Chassis (**Abb. 1.2**).
2. Verbinden Sie das Solarmodul mit Hilfe der Verbindungskabel mit den jeweiligen Anschlüssen am Ventilator bzw. am Motor. Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-").
3. Bei ausreichender Beleuchtung des Solarmoduls beginnt der Ventilator bzw. der Motor zu laufen.

<u>Hinweis</u>
Reicht die Beleuchtungssituation nicht aus, können Sie einen starken Halogenstrahler (h-tec Spotlight mit 75 W) einsetzen.


1.1


1.2



Versuch 2: Solare Wasserstofferzeugung und Speicherung
(aufbauend auf Versuch 1)

Übersicht

Ziel des Versuchs ist es, mit der gewonnenen elektrischen Energie, den Elektrolyseur (bzw. die reversible Brennstoffzelle im Elektrolysemodus) zu speisen.

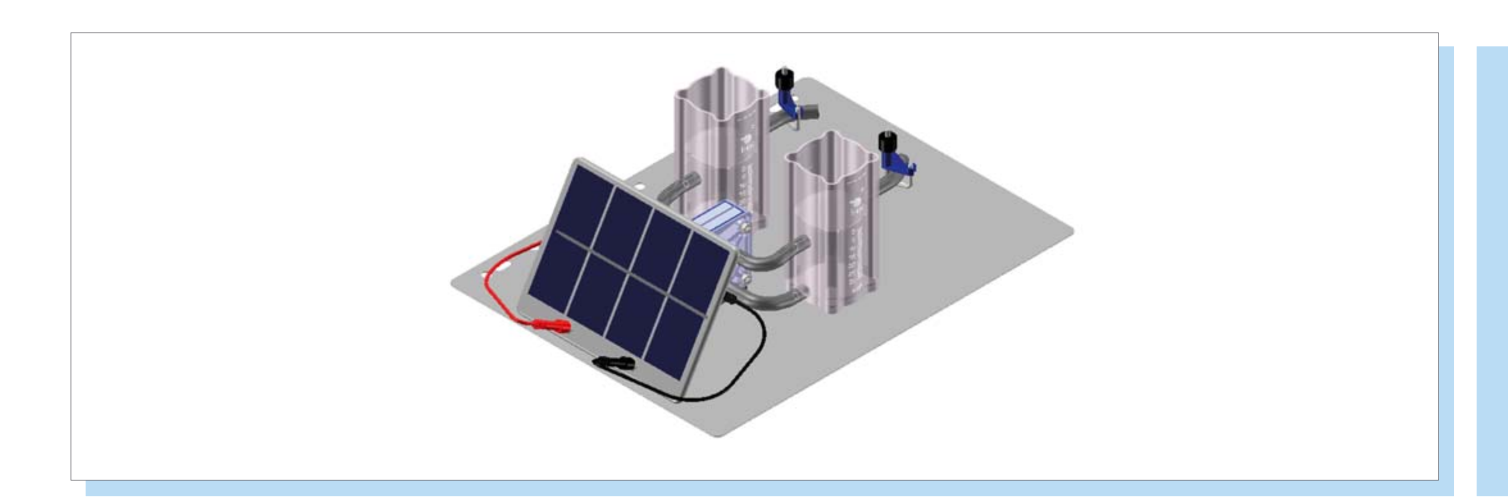
Der Elektrolyseur zerlegt Wasser in die Gase Wasserstoff und Sauerstoff, die jeweils in den Gastanks gespeichert werden.

Aufbaudauer: ca. 3 Minuten

Versuchslänge: ca. 5-15 Minuten (je nachdem wie viel Gas produziert werden soll)

Versuche aus dem Begleitbuch

- Zersetzung von Wasser unter Betrachtung des entstehenden Wasserstoff- und Sauerstoff-Gasvolumens (2.1.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie, Leistungskurve und Wirkungsgrad des Solarmoduls (2.2.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie des PEM-Elektrolyseurs (2.3.)
- Energetischer und faradayscher Wirkungsgrad des PEM-Elektrolyseurs (2.4.)

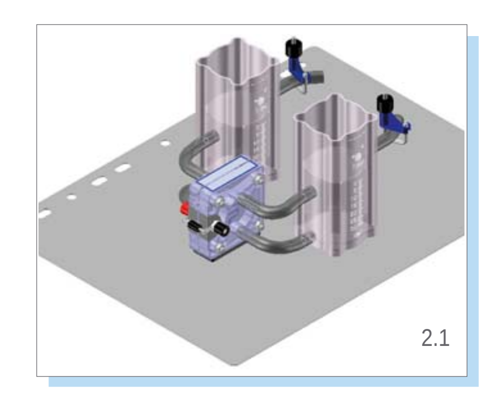


Geräte und Material

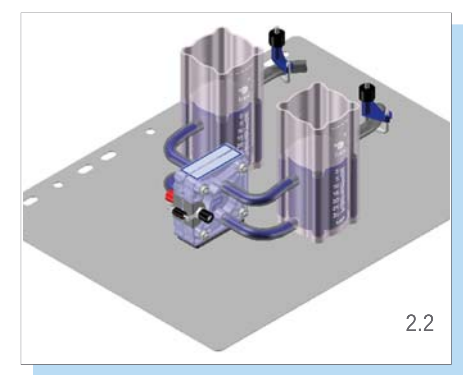
Für den Versuch benötigen Sie:

- 1x Elektrolyseur
- 2x Gasspeicher
- 1x Solarmodul
- 1x Grundplatte
- 1x Schläuche (4x kurz, 2x lang)
- 2x Schlauchklemme
- 1x Wasserflasche mit dest. Wasser
- 1x Lichtquelle (z.B. h-tec Spotlight)
- 1x Schutzbrille
- 2x Verbindungskabel 2 mm ggf. 2x Adapter von 2 mm auf 4 mm Sicherheitsstecker

Aufbau / Einrichtung


2.1

1. Setzen Sie die beiden Gasspeicher und den Elektrolyseur wie skizziert auf die Grundplatte.
2. Verbinden Sie die unteren und oberen Anschlüsse des Elektrolyseurs mit den entsprechenden Anschlüssen auf der Elektrolyseseite der Speicher mit vier kurzen Schläuchen.
3. Setzen Sie jeweils lange Schläuche auf die Anschlüsse an der Brennstoffzellenseite der Gasspeicher und verschließen Sie diese mit Schlauchklemmen (**Abb. 2.1**).
4. Befüllen Sie beide Speicher bis zur oberen Markierung der Ausgleichsbehälter mit destilliertem Wasser.
5. Öffnen Sie nacheinander die Schlauchklemmen auf den Schläuchen an der Brennstoffzellenseite der Gasspeicher. Die Luft aus Gasspeichern und Elektrolyseur entweicht. Der Vorgang ist abgeschlossen, sobald der Wasserstand in den Speichern nicht mehr sinkt (**Abb. 2.2**). Im Anschluss verschließen Sie die Schlauchklemmen wieder.
6. Verbinden Sie das Solarmodul mit Hilfe der Verbindungskabel mit den jeweiligen Anschlüssen am Elektrolyseur (**Abb. 2.3**). Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-").


2.2

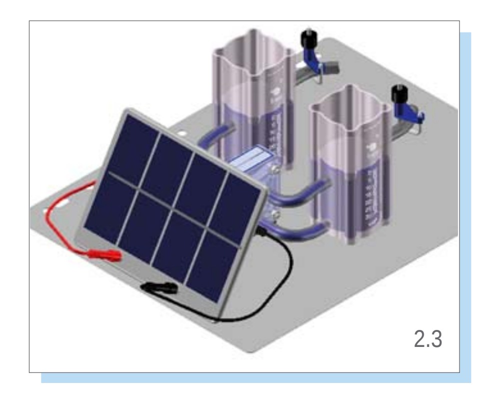


Gasproduktion

1. Bei ausreichender Beleuchtung des Solarmoduls beginnt der Elektrolyseur mit der Produktion von Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis 2:1 (**Abb. 2.4**).

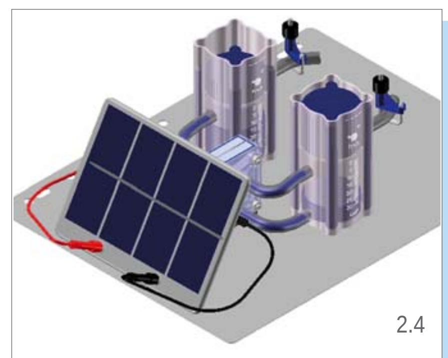
Hinweis
Reicht die Beleuchtungssituation nicht aus, können Sie einen starken Halogenstrahler (z.B. h-tec Spotlight) einsetzen oder alternativ den mitgelieferten Batteriehalter bzw. das Steckernetzteil verwenden.

2. Sind die Gasspeicher gefüllt, entweicht überschüssiges Gas in Blasenform.


2.3

Speicher entleeren

1. Zum Entleeren der Speicher nehmen sie die Speicher und die Zelle von der Grundplatte und gießen das Wasser in ein Auffanggefäß.


2.4



Versuch 3: Solar-Wasserstoffsystem - H_2/O_2
(aufbauend auf Versuch 2)

Übersicht

Ziel des Versuchs ist es, aus den gespeicherten Gasen elektrische Energie zu erzeugen.

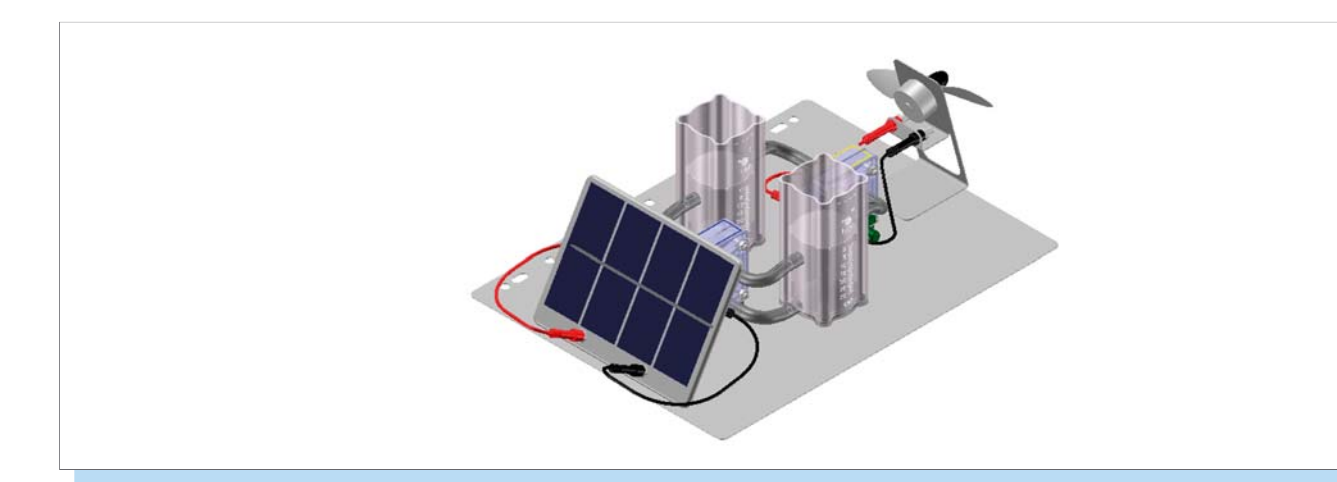
Die Gase werden der Brennstoffzelle zugeführt, welche die chemische Energie in Strom und Wärme umwandelt. Der elektrische Verbraucher dient der Veranschaulichung.

Aufbaudauer: ca. 5 Minuten

Versuchslänge: ca. 10 Minuten

Versuche aus dem Begleitbuch

- Zersetzung von Wasser unter Betrachtung des entstehenden Wasserstoff- und Sauerstoff-Gasvolumens (2.1.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie, Leistungskurve und Wirkungsgrad des Solarmoduls (2.2.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie des PEM-Elektrolyseurs (2.3.)
- Energetischer und faradayscher Wirkungsgrad des PEM-Elektrolyseurs (2.4.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie und Leistungskurve der PEM-Brennstoffzelle (2.5.)
- Energetischer und faradayscher Wirkungsgrad der PEM-Brennstoffzelle (2.6.)



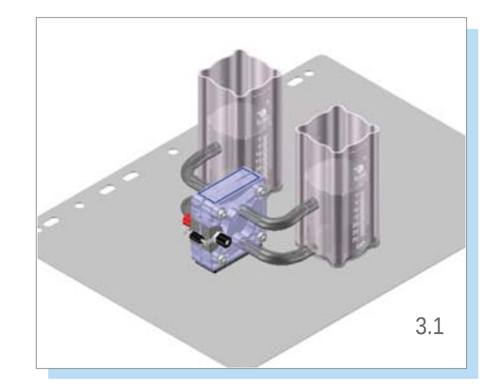
Geräte und Material

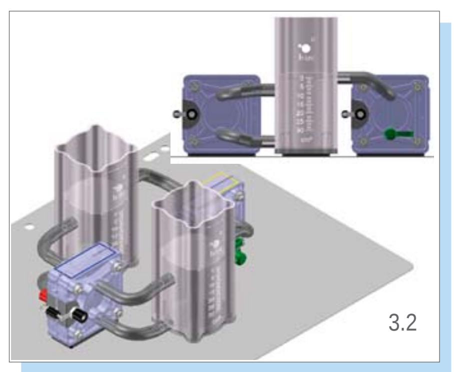
Für den Versuch benötigen Sie:

- 1x Elektrolyseur
- 1x reversible Brennstoffzelle
- 2x Gasspeicher
- 1x Solarmodul
- 1x Ventilator
- 1x Grundplatte
- 1x Schläuche (6x kurz)
- 1x Stöpsel
- 2x Verschlusskappen
- 1x Wasserflasche mit dest. Wasser
- 1x Lichtquelle (z.B. h-tec Spotlight)
- 1x Schutzbrille
- 4x Verbindungskabel 2 mm ggf. 4x Adapter von 2 mm auf 4 mm Sicherheitsstecker

Aufbau / Einrichtung

1. Setzen Sie die beiden Gasspeicher und den Elektrolyseur wie skizziert auf die Grundplatte.
2. Verbinden Sie die unteren und oberen Anschlüsse des Elektrolyseurs mit den entsprechenden Anschlüssen auf der Elektrolyseseite der Speicher mit vier kurzen Schläuchen (**Abb. 3.1**).
3. Setzen Sie die Brennstoffzelle auf die Grundplatte und verbinden Sie mit zwei kurzen Schläuchen die Anschlüsse an der Brennstoffzellenseite der Gasspeicher mit den oberen Anschlüssen an der Brennstoffzelle. Achten Sie darauf, dass der Stöpsel eingesetzt ist.
4. Setzen Sie Verschlusskappen auf die unteren Anschlüsse der Brennstoffzelle (**Abb. 3.2**).
5. Befüllen Sie beide Speicher bis zur unteren Markierung der Ausgleichsbehälter mit destilliertem Wasser.
6. Öffnen Sie nacheinander die Verschlusskappen auf beiden Seiten der Brennstoffzelle. Die Luft aus den Gasspeichern, Elektrolyseur und Brennstoffzelle entweicht. Der Vorgang ist abgeschlossen, sobald der Wasserstand in den Speichern nicht mehr sinkt (**Abb. 3.3**). Im Anschluss verschließen Sie die unteren Anschlüsse der Brennstoffzelle wieder.

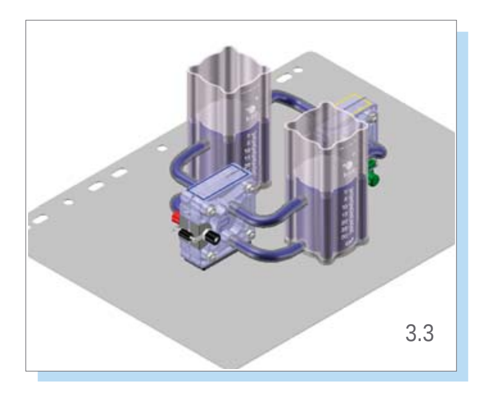

3.1


3.2


Hinweis
Achten Sie darauf, dass kein Wasser in die reversible Brennstoffzelle läuft.

7. Setzen Sie das Solarmodul auf die Grundplatte und verbinden Sie es mit Hilfe der Verbindungskabel mit den jeweiligen Anschlüssen am Elektrolyseur (**Abb. 3.4**). Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-").

8. Setzen Sie den Ventilator auf die Grundplatte und verbinden Sie ihn mit Hilfe der Verbindungskabel mit den jeweiligen Anschlüssen an der Brennstoffzelle. Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-").

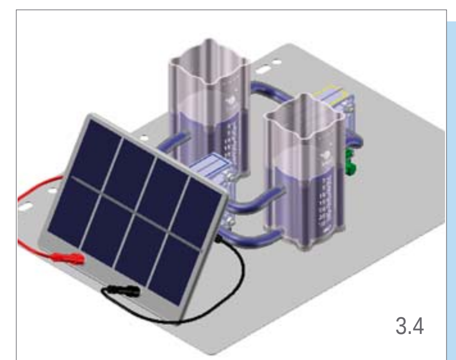

3.3


Gasproduktion

1. Bei ausreichender Beleuchtung des Solarmoduls beginnt der Elektrolyseur mit der Produktion von Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis 2:1 (**Abb. 3.5**).

Hinweis
Reicht die Beleuchtungssituation nicht aus, können Sie einen starken Halogenstrahler (z.B. h-tec Spotlight) einsetzen oder alternativ den mitgelieferten Batteriehalter bzw. das Steckernetzteil verwenden.

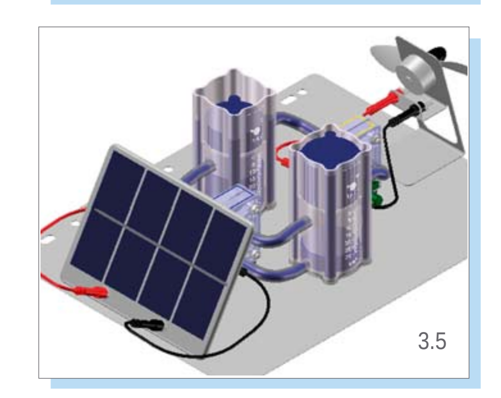
2. Sind die Gasspeicher gefüllt, entweicht überschüssiges Gas in Blasenform.


3.4

Inbetriebnahme der Brennstoffzelle

1. Öffnen Sie die Verschlusskappen auf beiden Seiten der Brennstoffzelle, so dass ca. 10 cm^3 der gespeicherten Gase durch die Brennstoffzelle strömen können. In den Schläuchen und in der Brennstoffzelle verbliebene Restluft entweicht. Im Anschluss setzen Sie die Verschlusskappen wieder auf.
2. Aus den in der Brennstoffzelle befindlichen Gasen wird jetzt unter Bildung von Wasser Strom produziert. Der Ventilator läuft an.

Hinweis
Wird die Gasproduktion durch Entfernen der Spannungsquelle gestoppt, produziert die Brennstoffzelle so lange Strom, bis sich kein Gas mehr in den Gasspeichern befindet. Läuft die Gasproduktion dagegen weiter, so produziert auch die Brennstoffzelle kontinuierlich Strom.


3.5

Speicher entleeren

1. Zum Entleeren der Speicher nehmen sie die Speicher und die Zelle von der Grundplatte und gießen das Wasser in ein Auffanggefäß.



Versuch 4: Solar-Wasserstoffsystem - H_2/Luft
(aufbauend auf Versuch 2)

Übersicht

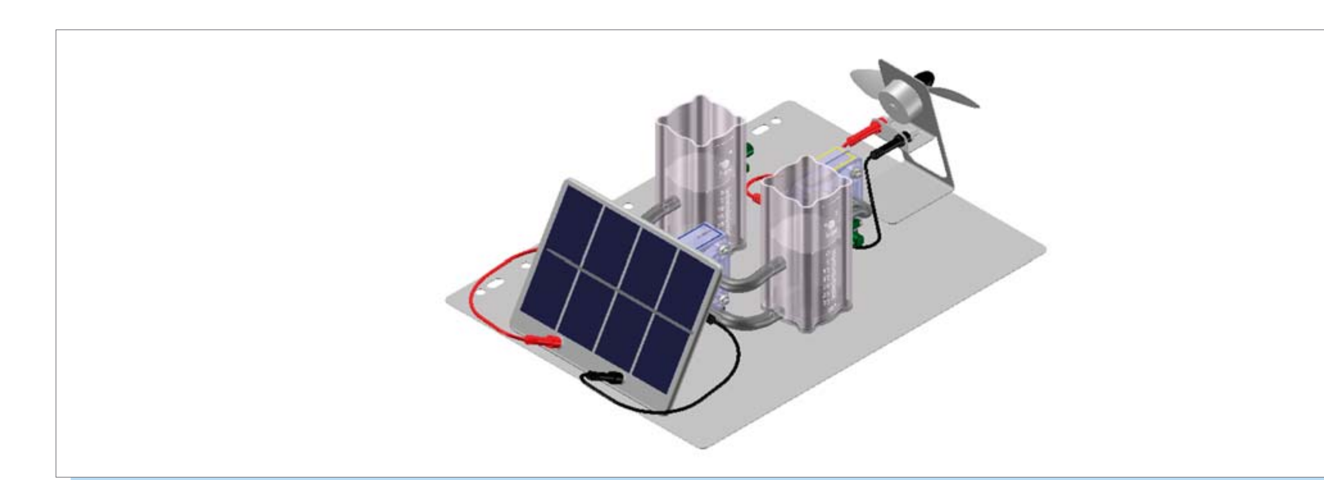
Ziel des Versuchs ist es, aus dem gespeicherten Wasserstoff und dem Luftsauerstoff elektrische Energie zu erzeugen. Der Wasserstoff wird der Brennstoffzelle zugeführt, welche die chemische Energie in Strom und Wärme umwandelt. Der elektrische Verbraucher dient der Veranschaulichung.

Aufbaudauer: ca. 5 Minuten

Versuchslänge: ca. 10 Minuten

Versuche aus dem Begleitbuch

- Zersetzung von Wasser unter Betrachtung des entstehenden Wasserstoff- und Sauerstoff-Gasvolumens (2.1.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie, Leistungskurve und Wirkungsgrad des Solarmoduls (2.2.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie des PEM-Elektrolyseurs (2.3.)
- Energetischer und faradayscher Wirkungsgrad des PEM-Elektrolyseurs (2.4.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie und Leistungskurve der PEM-Brennstoffzelle (2.5. im Luftmodus)
- Energetischer und faradayscher Wirkungsgrad der PEM-Brennstoffzelle (2.6. im Luftmodus)



Geräte und Material

Für den Versuch benötigen Sie:

- 1x Elektrolyseur
- 1x reversible Brennstoffzelle
- 2x Gasspeicher
- 1x Solarmodul
- 1x Ventilator
- 1x Grundplatte
- 1x Schläuche (5x kurz)
- 2x Verschlusskappen
- 1x Wasserflasche mit dest. Wasser
- 1x Schutzbrille
- 1x Lichtquelle (z.B. h-tec Spotlight)
- 4x Verbindungskabel 2 mm ggf. 4x Adapter von 2 mm auf 4 mm Sicherheitsstecker

Aufbau / Einrichtung

1. Setzen Sie die beiden Gasspeicher und den Elektrolyseur wie skizziert auf die Grundplatte.
2. Verbinden Sie die unteren und oberen Anschlüsse des Elektrolyseurs mit den entsprechenden Anschlüssen auf der Elektrolyseseite der Speicher mit vier kurzen Schläuchen (**Abb. 4.1**).
3. Setzen Sie die Brennstoffzelle auf die Grundplatte und verbinden den Anschluss an der Brennstoffzellenseite des Wasserstoffspeichers mit dem oberen Anschluss an der Wasserstoffseite der Brennstoffzelle mit einem kurzen Schlauch (**Abb. 4.2**).
4. Setzen Sie je eine Verschlusskappe auf den unteren Anschluss an der Wasserstoffseite der Brennstoffzelle und auf den Anschluss an der Brennstoffzellenseite des Sauerstoffspeichers.
5. Befüllen Sie beide Speicher bis zur unteren Markierung der Ausgleichsbehälter mit destilliertem Wasser.
6. Öffnen Sie die Verschlusskappen auf dem unteren Anschluss der Brennstoffzelle und auf der Brennstoffzellenseite des Sauerstoffspeichers. Die Luft aus Speichern, Elektrolyseur und Brennstoffzelle entweicht. Der Vorgang ist abgeschlossen, sobald der Wasserstand in den Speichern nicht mehr sinkt (**Abb. 4.3**). Anschließend verschließen Sie den unteren Anschluss der Brennstoffzelle sowie den Anschluss am Sauerstoffspeicher.



Hinweis
Achten Sie darauf, dass kein Wasser in die Brennstoffzelle läuft.

7. Setzen Sie das Solarmodul auf die Grundplatte und verbinden Sie es mit Hilfe der Verbindungskabel mit den jeweiligen Anschlüssen am Elektrolyseur (**Abb. 4.4**). Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-").
8. Setzen Sie den Ventilator auf die Grundplatte und verbinden Sie ihn mit Hilfe der Verbindungskabel mit den jeweiligen Anschlüssen an der Brennstoffzelle. Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-").

Gasproduktion

1. Bei ausreichender Beleuchtung des Solarmoduls beginnt der Elektrolyseur mit der Produktion von Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis 2:1 (**Abb. 4.5**).

Hinweis
Reicht die Beleuchtungssituation nicht aus, können Sie einen starken Halogenstrahler (z.B. h-tec Spotlight) einsetzen oder alternativ den mitgelieferten Batteriehalter bzw. das Steckernetzteil verwenden.

2. Sind die Gasspeicher gefüllt, entweicht überschüssiges Gas in Blasenform.

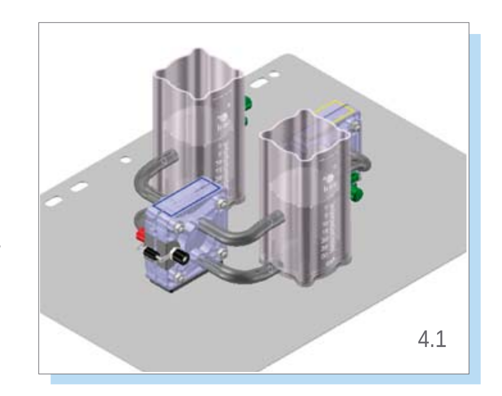
Inbetriebnahme der Brennstoffzelle

1. Öffnen Sie den Stöpsel auf der Sauerstoffseite der Brennstoffzelle.
2. Öffnen Sie die Verschlusskappe auf der Wasserstoffseite der Brennstoffzelle, so dass ca. 10 cm^3 des gespeicherten Wasserstoffs durch die Brennstoffzelle strömen kann. In den Schläuchen und in der Brennstoffzelle verbliebene Restluft entweicht.
3. Setzen Sie die Verschlusskappe wieder auf.
4. Die Zelle nutzt den produzierten Wasserstoff zusammen mit dem Luftsauerstoff zur Stromproduktion unter Bildung von Wasser und geringer Mengen Wärme. Der Ventilator läuft an.

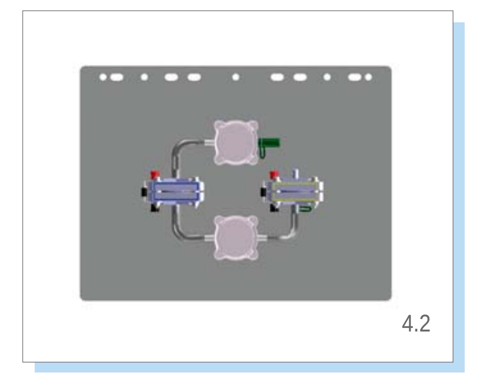
Hinweis
Wird die Gasproduktion durch Entfernen der Spannungsquelle gestoppt, produziert die Brennstoffzelle so lange Strom, bis sich kein Gas mehr im Gasspeicher befindet. Läuft die Gasproduktion dagegen weiter, so produziert auch die Brennstoffzelle kontinuierlich Strom.

Speicher entleeren

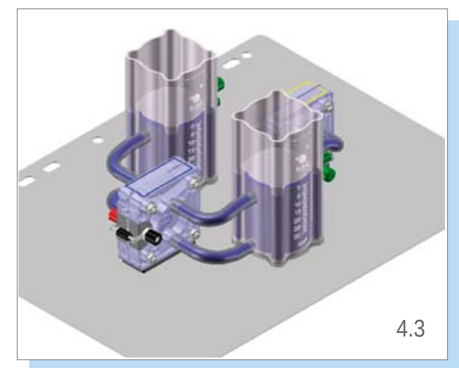
1. Zum Entleeren der Speicher nehmen sie die Speicher und die Zelle von der Grundplatte und gießen das Wasser in ein Auffanggefäß.



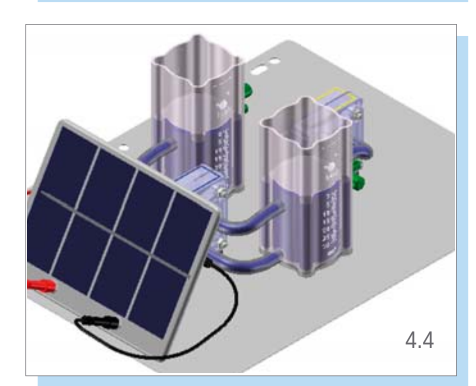
4.1



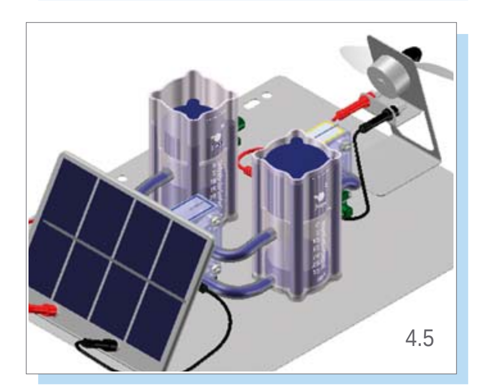
4.2



4.3



4.4



4.5



Versuch 5: Brennstoffzellenfahrzeug und Solar-Wasserstofftankstelle

Übersicht

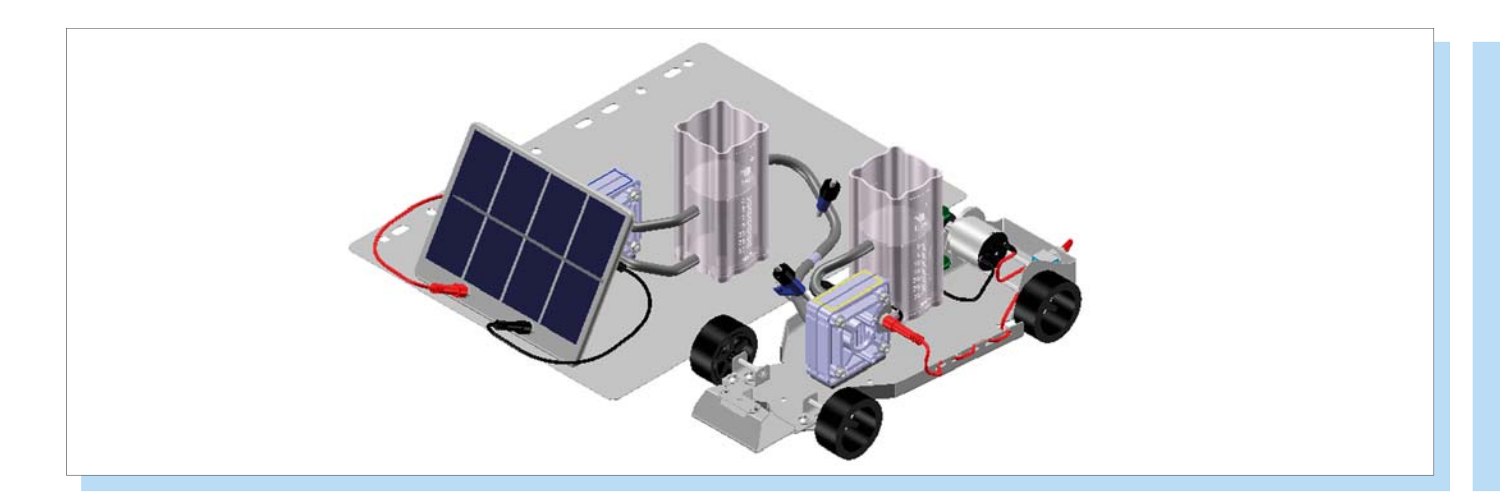
Ziel des Versuchs ist es, Lichtenergie zur Wasserstoffherstellung zu nutzen. Der Elektrolyseur (bzw. die reversible Brennstoffzelle im Elektrolysemodus) zerlegt Wasser in die Gase Wasserstoff und Sauerstoff, wobei der Wasserstoff zur späteren Verwendung gespeichert wird.

Aufbaudauer: ca. 3 Minuten

Versuchslänge: ca. 5-15 Minuten (abhängig von der produzierten Gasmenge)

Versuche aus dem Begleitbuch

- Strom-Spannungs-Kennlinie, Leistungskurve und Wirkungsgrad des Solarmoduls (2.2.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie des PEM-Elektrolyseurs (2.3.)
- Energetischer und faradayscher Wirkungsgrad des PEM-Elektrolyseurs (2.4.)



Geräte und Material

- 1x Wasserflasche mit dest. Wasser
- 1x Befüllaufsatz
- 1x Schutzbrille

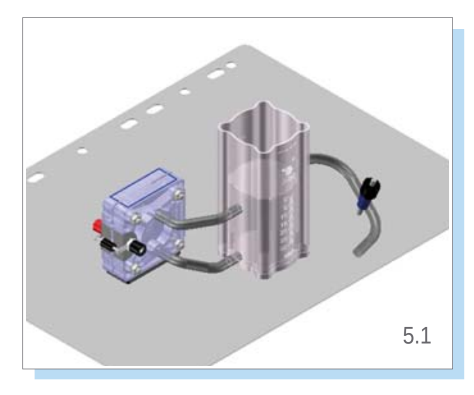
Für den Tankstellenaufbau benötigen Sie weiterhin:

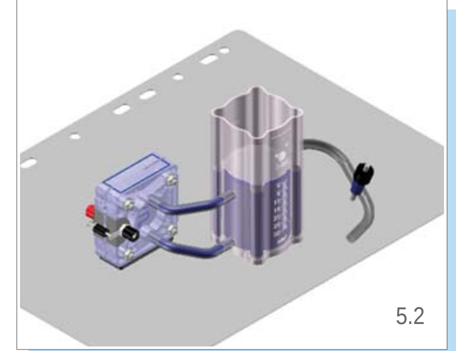
- 1x Elektrolyseur
- 1x Gasspeicher
- 1x Solarmodul
- 1x Grundplatte
- 2x Schlauch kurz
- 1x Schlauch lang mit Schlauchklemme
- 2x Verbindungskabel 2 mm ggf. 2x Adapter von 2 mm auf 4 mm Sicherheitsstecker
- 1x Verbindungsröhrchen
- 1x Lichtquelle (z.B. h-tec Spotlight)

Für den Autoaufbau benötigen Sie weiterhin:

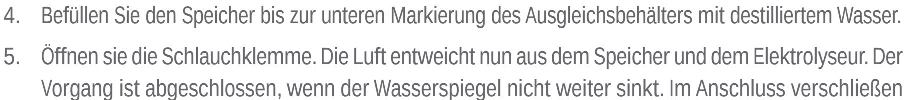
- 1x reversible Brennstoffzelle
- 1x Chassis
- 1x Schlauch kurz
- 1x Schlauch mittel mit Schlauchklemme
- 2x Verschlusskappe

Aufbau (Tankstelle)

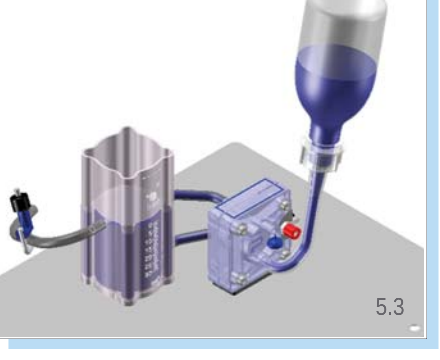

5.1


5.2

1. Setzen Sie den Gasspeicher und den Elektrolyseur wie skizziert auf die Grundplatte.
2. Verbinden Sie die Elektrolyseseite des Speichers mit den jeweiligen Anschlüssen des Elektrolyseurs auf der Wasserstoffseite mit zwei kurzen Schläuchen.
3. Setzen Sie einen langen Schlauch auf den Anschluss an der Brennstoffzellenseite des Wasserstoffspeichers und verschließen Sie ihn mit einer Schlauchklemme (**Abb. 5.1**).
4. Befüllen Sie den Speicher bis zur unteren Markierung des Ausgleichsbehälters mit destilliertem Wasser.



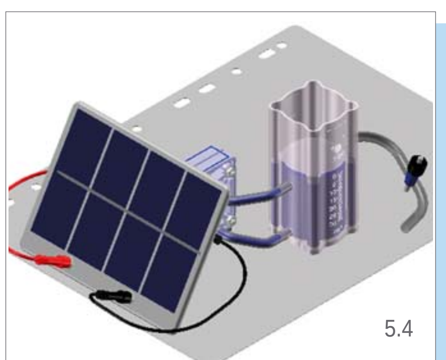
5. Öffnen sie die Schlauchklemme. Die Luft entweicht nun aus dem Speicher und dem Elektrolyseur. Der Vorgang ist abgeschlossen, wenn der Wasserspiegel nicht weiter sinkt. Im Anschluss verschließen Sie die Schlauchklemme wieder (**Abb. 5.2**).
6. Befeuchten Sie mit Hilfe des mitgelieferten Befüllaufsatzes die Sauerstoffseite des Elektrolyseurs, indem Sie die Wasserflasche an den unteren Anschluss anschließen und so die Zelle fluten (**Abb. 5.3**).
7. Verbinden Sie das Solarmodul mit Hilfe der Verbindungskabel mit den jeweiligen Anschlüssen am Elektrolyseur (**Abb. 5.4**). Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-").


5.3



Gasproduktion

1. Bei ausreichender Beleuchtung des Solarmoduls beginnt der Elektrolyseur mit der Produktion von Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis 2:1.

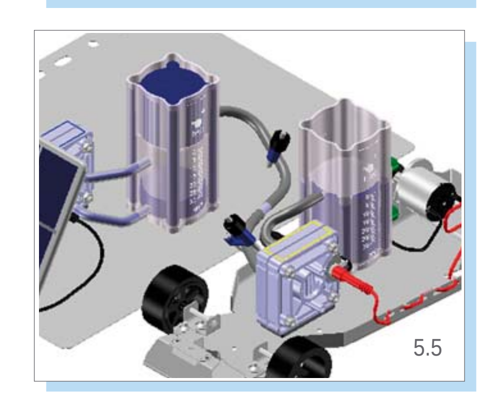

5.4

Hinweis
Reicht die Beleuchtungssituation nicht aus, können Sie einen starken Halogenstrahler (z.B. h-tec Spotlight) einsetzen oder alternativ den mitgelieferten Batteriehalter bzw. das Steckernetzteil verwenden.

2. Ist der Gasspeicher gefüllt, entweicht überschüssiges Gas in Blasenform.

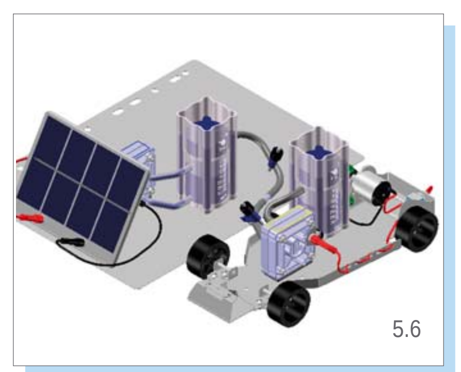
Aufbau / Betankung (Brennstoffzellenfahrzeug)

1. Setzen Sie zwei Verschlusskappen auf die Anschlüsse auf der Elektrolyseseite des Gasspeichers sowie einen kurzen Schlauch auf die Brennstoffzellenseite des Gasspeichers.
2. Setzen Sie einen mittleren Schlauch mit Schlauchklemme an den unteren Anschluss der Brennstoffzelle auf der Wasserstoffseite und verschließen sie die Schlauchklemme.
3. Verbinden Sie den Speicher mit dem oberen Anschluss der Brennstoffzelle auf der Wasserstoffseite
4. Setzen Sie die Zelle und den Speicher auf das Chassis und verbinden Sie die Kabel des Motors mit den jeweiligen Anschlüssen an der Zelle. Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-") **(Abb. 5.5)**.
5. Befüllen Sie den Speicher bis zur unteren Markierung des Ausgleichsbehälters mit destilliertem Wasser.
6. Öffnen sie die Schlauchklemme. Die Luft entweicht nun aus dem Speicher und der Brennstoffzelle. Der Vorgang ist abgeschlossen, wenn der Wasserspiegel nicht weiter sinkt. Im Anschluss verschließen Sie die Schlauchklemme wieder.


5.5

Hinweis
Achten Sie darauf, dass sich kein Wasser im Betankungsschlauch der Tankstelle befindet. Entfernen Sie dies ggf. durch kurzes Öffnen der Schlauchklemme.

7. Zum Betanken verbinden Sie die beiden Schläuche von Auto und Tankstelle mit Hilfe des Verbindungsröhrchens und öffnen Sie anschließend die beiden Schlauchklemmen. Es kommt nun zum Druckausgleich, so dass beide Speicher zur Hälfte gefüllt sind (**Abb. 5.6**).
8. Verschließen Sie die beiden Schlauchklemmen wieder und trennen sie die Schläuche voneinander. Das Fahrzeug ist nun betriebsbereit. Achten Sie darauf, dass der Stöpsel auf der Sauerstoffseite der Brennstoffzelle geöffnet ist.


5.6

Speicher entleeren

1. Zum Entleeren der Speicher nehmen sie den Speicher und die Zelle von der Grundplatte bzw. dem Chassis und gießen das Wasser in ein Auffanggefäß.



Versuch 6: Solar-Wasserstoffsystem mit reversibler Brennstoffzelle - H_2/O_2

Übersicht

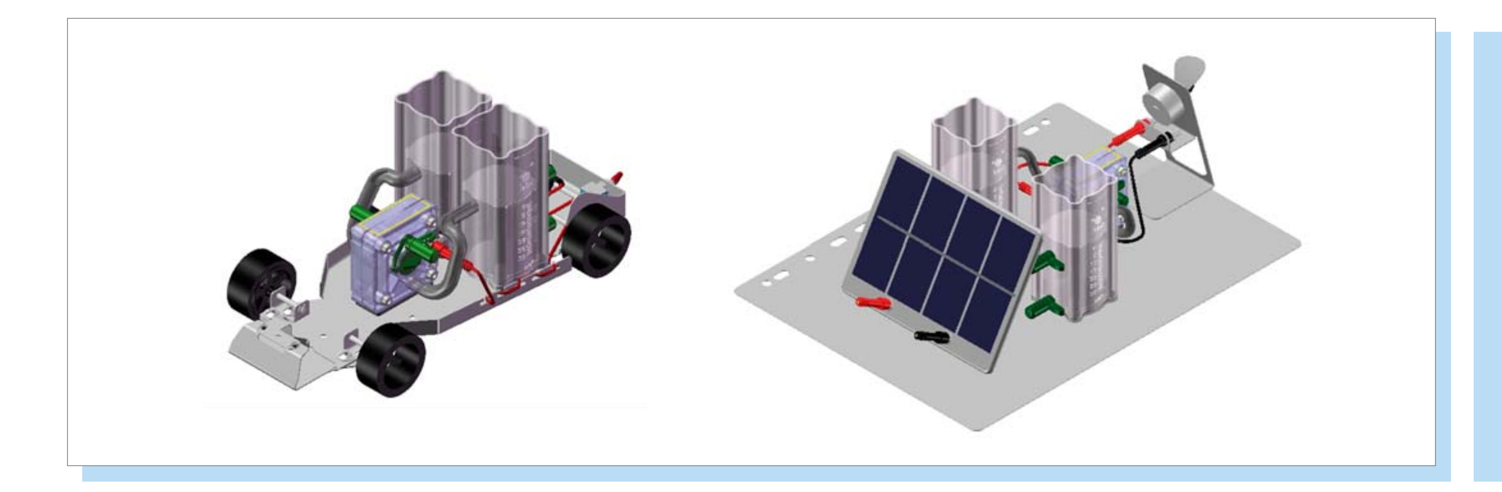
Ziel des Versuchs ist es, zuerst im Elektrolysemodus der reversiblen Brennstoffzelle, Sauerstoff und Wasserstoff zu erzeugen, die Gase zu speichern und danach im Brennstoffzellenmodus die gespeicherte chemische Energie wieder in Strom zurückzuwandeln. Der elektrische Verbraucher dient der Veranschaulichung.

Aufbaudauer: ca. 5 Minuten

Versuchslänge: ca. 10 Minuten

Versuche aus dem Begleitbuch

- Zersetzung von Wasser unter Betrachtung des entstehenden Wasserstoff- und Sauerstoff-Gasvolumens (2.1.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie, Leistungskurve und Wirkungsgrad des Solarmoduls (2.2.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie des PEM-Elektrolyseurs (2.3.)
- Energetischer und faradayscher Wirkungsgrad des PEM-Elektrolyseurs (2.4.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie und Leistungskurve der PEM-Brennstoffzelle (2.5.)
- Energetischer und faradayscher Wirkungsgrad der PEM-Brennstoffzelle (2.6.)



Geräte und Material

Für den Versuch benötigen Sie:

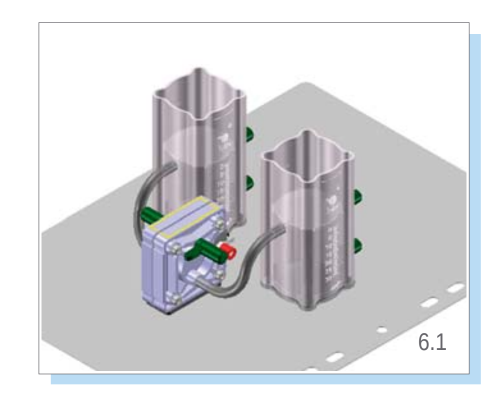
- 1x reversible Brennstoffzelle
- 2x Gasspeicher
- 1x Solarmodul
- 1x Ventilator (für stationären Aufbau)
- 1x Grundplatte bzw. Chassis
- 2x Schlauch mittel
- 6x Verschlusskappen
- 1x Stöpsel
- 1x Schutzbrille
- 1x Wasserflasche mit dest. Wasser
- 1x Lichtquelle (z.B. h-tec Spotlight)
- 2x Verbindungskabel 2 mm ggf. 2x Adapter von 2 mm auf 4 mm Sicherheitsstecker

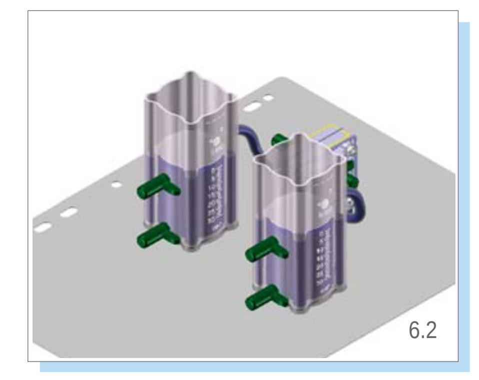
Aufbau / Einrichtung

1. Setzen Sie die beiden Gasspeicher und die reversible Brennstoffzelle wie skizziert auf die Grundplatte oder auf das Chassis.
2. Verbinden Sie die unteren Anschlüsse der reversiblen Brennstoffzelle mit den Anschlüssen auf der Brennstoffzellenseite der Speicher mit zwei mittleren Schläuchen.
3. Setzen Sie Verschlusskappen auf die Anschlüsse an der Elektrolyseseite der Gasspeicher und auf die oberen Gasanschlüsse der reversiblen Brennstoffzelle (**Abb. 6.1**).
4. Befüllen Sie beide Speicher bis zur oberen Markierung der Ausgleichsbehälter mit destilliertem Wasser.
5. Öffnen Sie nacheinander die oberen Verschlusskappen auf beiden Seiten der Zelle. Die Luft aus den Gasspeichern und aus der Zelle entweicht und die Zelle wird geflutet (**Abb. 6.2**). Der Vorgang ist abgeschlossen, wenn das Wasser aus den oberen Gasanschlüssen austritt. Im Anschluss verschließen Sie die Gasanschlüsse wieder.


Hinweis
Man kann den Anstieg des Wassers gut in dem Mäander im Zelleninneren verfolgen. Es können sich Luftblasen bilden, die das System stören. Lassen Sie den Vorgang laufen, bis Sie keine Luftblasen mehr sehen.

6. Verbinden Sie das Solarmodul mit Hilfe der Verbindungskabel mit den jeweiligen Anschlüssen an der reversiblen Brennstoffzelle (**Abb. 6.3**). Achten Sie auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-").


6.1

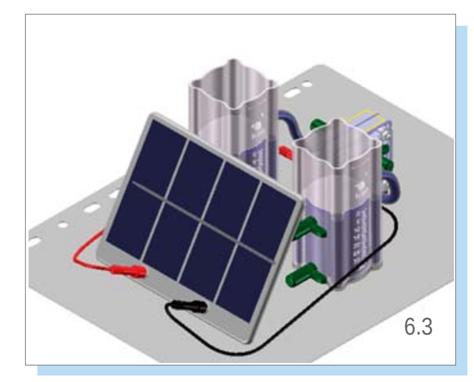

6.2


Gasproduktion

1. Bei ausreichender Beleuchtung des Solarmoduls beginnt die reversible Brennstoffzelle mit der Produktion von Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis 2:1 (**Abb. 6.4**).

Hinweis
Reicht die Beleuchtungssituation nicht aus, können Sie einen starken Halogenstrahler (z.B. h-tec Spotlight) einsetzen oder alternativ den mitgelieferten Batteriehalter bzw. das Steckernetzteil verwenden.

2. Sind die Gasspeicher gefüllt, entweicht überschüssiges Gas in Blasenform.


6.3

Inbetriebnahme der Brennstoffzelle

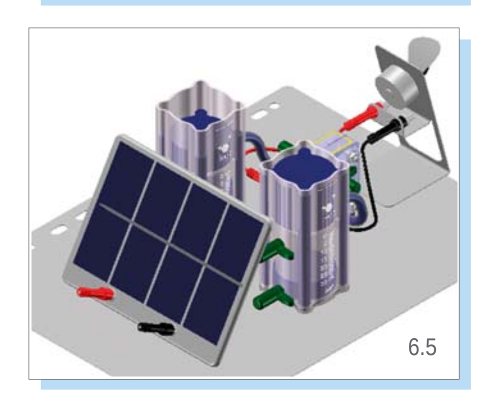
1. Entfernen Sie die Stromquelle und schließen Sie den Ventilator oder den Motor an (**Abb. 6.5**). Die Zelle nutzt das produzierte Gas zur Stromproduktion unter Bildung von Wasser und geringer Mengen Wärme.
2. Das Gasniveau sinkt. Sind die Gase verbraucht, zieht die Zelle Wasser und der Verbraucher stoppt.
3. Schließen Sie die Solarzelle wieder an. Die Gasproduktion startet erneut.

Hinweis
Achten Sie darauf, dass die Sauerstoffseite der Zelle ausreichend feucht ist. Fluten Sie ggf. die Zelle erneut.


6.4

Speicher entleeren

1. Zum Entleeren der Speicher nehmen sie die Speicher und die Zelle von der Grundplatte bzw. dem Chassis und gießen das Wasser in ein Auffanggefäß.


6.5



Versuch 7: Solar-Wasserstoffsystem mit reversibler Brennstoffzelle - H_2/Luft

Übersicht

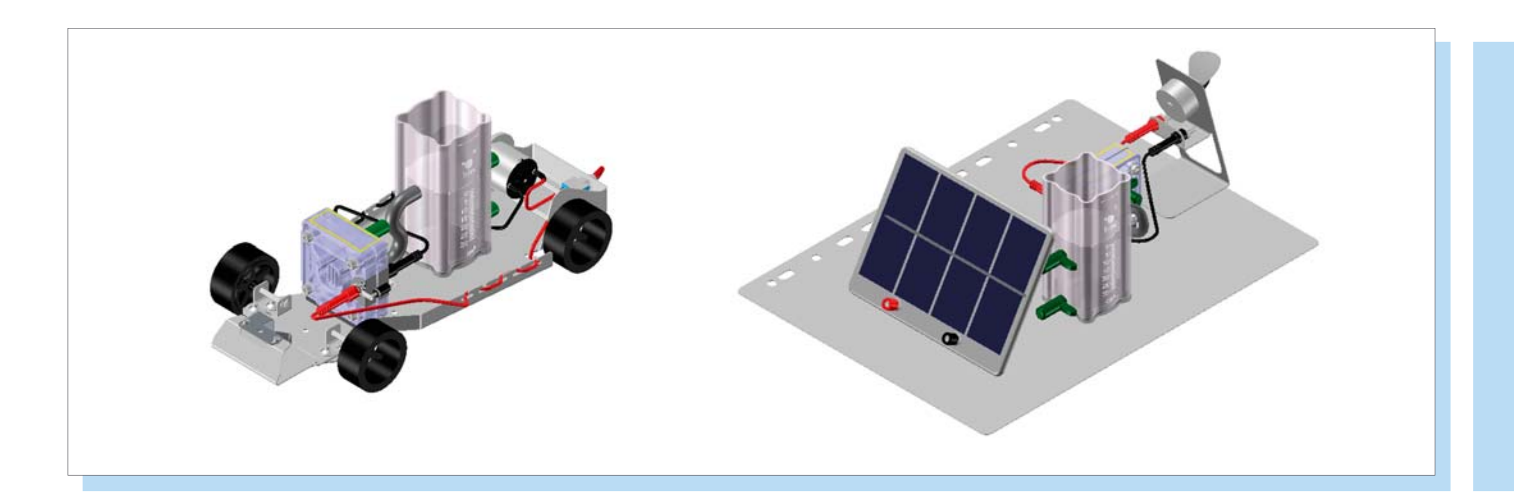
Ziel des Versuchs ist es, zuerst im Elektrolysemodus der reversiblen Brennstoffzelle, Wasserstoff zu erzeugen, und diesen zu speichern. Danach wird im Brennstoffzellenmodus aus Luftsauerstoff und der gespeicherten chemischen Energie des Wasserstoffs wieder elektrische Energie zurückgewonnen. Der elektrische Verbraucher dient der Veranschaulichung.

Aufbaudauer: ca. 5 Minuten

Versuchslänge: ca. 10 Minuten

Versuche aus dem Begleitbuch

- Strom-Spannungs-Kennlinie, Leistungskurve und Wirkungsgrad des Solarmoduls (2.2.)
- Strom-Spannungs-Kennlinie und Leistungskurve der PEM-Brennstoffzelle (2.5. im Luftmodus)
- Energetischer und faradayscher Wirkungsgrad der PEM-Brennstoffzelle (2.6. im Luftmodus)



Geräte und Material

Für den Versuch benötigen Sie:

- 1x reversible Brennstoffzelle
- 1x Gasspeicher
- 1x Solarmodul
- 1x Ventilator (für stationären Aufbau)
- 1x Grundplatte bzw. Chassis
- 1x Schlauch mittel
- 3x Verschlusskappen
- 1x Stöpsel
- 1x Befüllaufsatz
- 1x Wasserflasche mit dest. Wasser
- 2x Verbindungskabel 2 mm ggf. 2x Adapter von 2 mm auf 4 mm Sicherheitsstecker
- 1x Schutzbrille
- 1x Lichtquelle (z.B. h-tec Spotlight)

Aufbau / Einrichtung

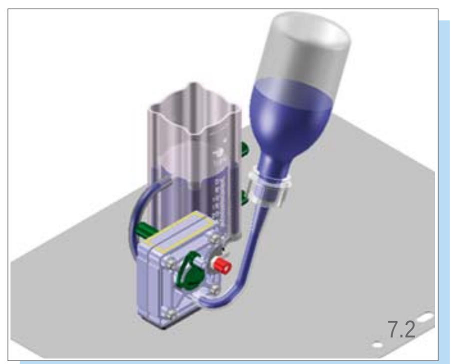
1. Setzen Sie einen Gasspeicher und die reversible Brennstoffzelle wie skizziert auf die Grundplatte bzw. auf das Chassis.
2. Verbinden Sie den unteren Anschluss auf der Wasserstoffseite der Brennstoffzelle mit dem Anschluss auf der Brennstoffzellenseite des Gasspeichers mit einem mittleren Schlauch.
3. Setzen Sie Verschlusskappen auf die Anschlüsse an der Elektrolyseseite des Gasspeichers und den oberen Anschluss auf der Wasserstoffseite der Brennstoffzelle (**Abb. 7.1**).
4. Befüllen Sie den Speicher bis zur oberen Markierung des Ausgleichsbehälters mit destilliertem Wasser und öffnen Sie die obere Verschlusskappe auf der Wasserstoffseite der Zelle. Die Luft aus dem Gasspeicher und der Zelle entweicht und die Zelle wird geflutet. Die Zelle ist geflutet, wenn das Wasser aus dem oberen Gasanschluss austritt.
5. Verschließen Sie den Gasanschluss auf der Wasserstoffseite wieder.

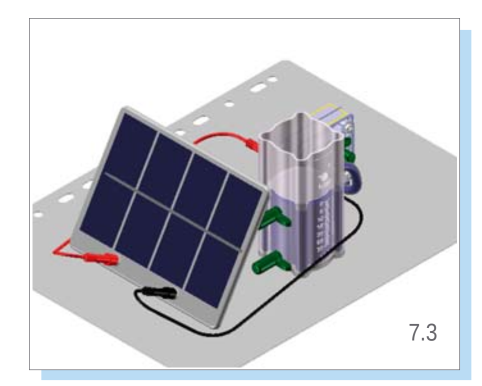
Hinweis
Man kann den Anstieg des Wassers gut in dem Mäander im Zelleninneren verfolgen. Es können sich Luftblasen bilden, die das System stören. Lassen Sie den Vorgang laufen, bis Sie keine Luftblasen mehr sehen.

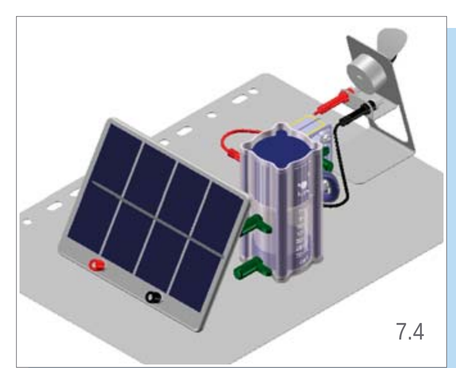
6. Prüfen Sie, ob der Stöpsel in die reversible Brennstoffzelle eingesetzt ist, damit sich das Wasser gut in der Zelle verteilen kann.
7. Befeuchten Sie nun mit Hilfe des mitgelieferten Befüllaufsatzes die Sauerstoffseite der Zelle, indem Sie die Wasserflasche an den unteren Anschluss anschließen und so die Zelle fluten (**Abb. 7.2**).
8. Verbinden Sie das Solarmodul mit Hilfe der Verbindungskabel mit den Anschlüssen an der Brennstoffzelle (**Abb. 7.3**). Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-").



7.1


7.2


7.3


7.4

Gasproduktion

1. Bei ausreichender Beleuchtung des Solarmoduls beginnt die reversible Brennstoffzelle mit der Produktion von Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis 2:1

Hinweis
Reicht die Beleuchtungssituation nicht aus, können Sie einen starken Halogenstrahler (z.B. h-tec Spotlight) einsetzen oder alternativ den mitgelieferten Batteriehalter bzw. das Steckernetzteil verwenden.

2. Ist der Gasspeicher gefüllt, entweicht überschüssiges Gas in Blasenform.

Inbetriebnahme der Brennstoffzelle

1. Öffnen Sie den Stöpsel auf der Sauerstoffseite der Brennstoffzelle.
2. Entfernen Sie die Stromquelle und schließen Sie den Ventilator oder den Motor an. Die Zelle nutzt das produzierte Gas zusammen mit dem Luftsauerstoff zur Stromproduktion unter Bildung von Wasser und geringer Mengen Wärme (**Abb. 7.4**).
3. Das Gasniveau sinkt. Ist der Wasserstoff verbraucht, zieht die Zelle Wasser und der Verbraucher stoppt.

Hinweis
Falls Sie erneut Gas produzieren wollen, achten Sie darauf, dass die Sauerstoffseite der Zelle ausreichend feucht ist. Fluten Sie ggf. die Zelle erneut.

Speicher entleeren

1. Zum Entleeren der Speicher nehmen sie den Speicher und die Zelle von der Grundplatte bzw. dem Chassis und gießen das Wasser in ein Auffanggefäß.



Versuch 8: Direkt-Methanol-Brennstoffzelle

Übersicht

Ziel des Versuchs ist es, mit Methanol und Luftsauerstoff elektrische Energie zu erzeugen.

Der elektrische Verbraucher dient der Veranschaulichung.

Aufbaudauer: ca. 2 Minuten

Versuchslänge: ca. 2 Minuten

Versuche aus dem Begleitbuch

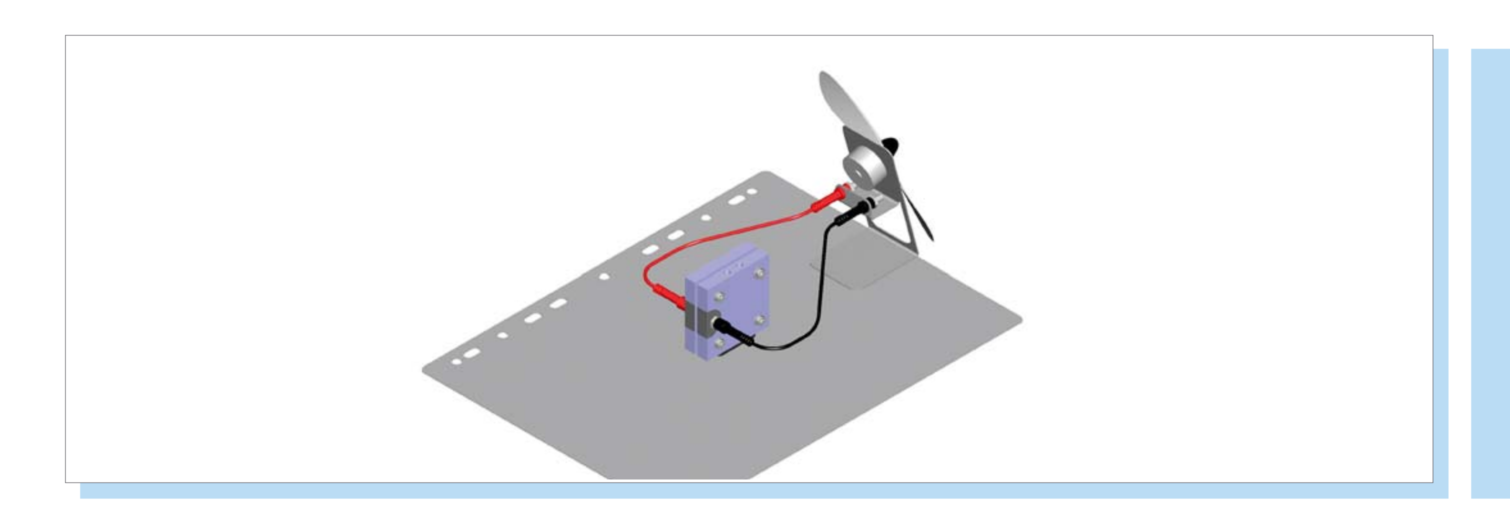
- Strom-Spannungs-Kennlinie der Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (2.7.)

Sicherheitshinweise für den Umgang mit Methanol

- Beachten Sie die auf der Flasche aufgebrachten Gefahrenhinweise und das zugehörige Sicherheitsdatenblatt.
- Verwenden Sie nur 3 %ige Methanollösung (Gew.-%). Andere Konzentrationen sind nicht zulässig.
- Verhindern Sie Haut- und Augenkontakt mit der Methanollösung.
- Verhindern Sie eine direkte Aufnahme des Methanols durch Verschlucken der Lösung oder Einatmen der Dämpfe.

Erste Hilfe Maßnahmen bei Kontakt mit Methanol

- Nach Hautkontakt sofort mit viel Wasser abspülen.
- Nach Verschlucken reichlich Wasser trinken und Arzt konsultieren.
- Nach Einatmen für Frischluft sorgen.
- Nach Augenkontakt sofort mit viel Wasser spülen und Augenarzt konsultieren.
- Bei Unwohlsein oder Unfall sofort Arzt aufsuchen und die Methanolflasche mit dem Etikett vorzeigen.



Geräte und Material

Für den Versuch benötigen Sie:

- 1x Direkt-Methanol-Brennstoffzelle
- 1x Ventilator
- 1x Grundplatte
- 1x Methanollösung
- 1x Pipette
- 2x Verbindungskabel 2 mm ggf. 2x Adapter von 2 mm auf 4 mm Sicherheitsstecker

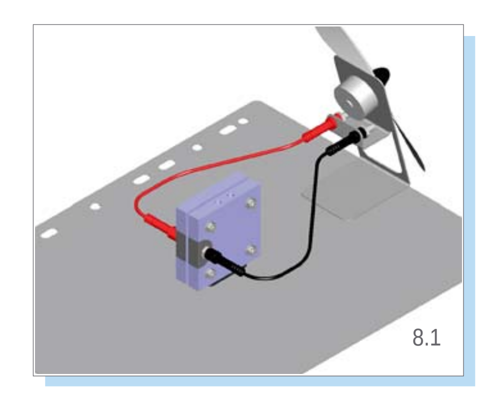
Aufbau - Einrichtung - Betrieb

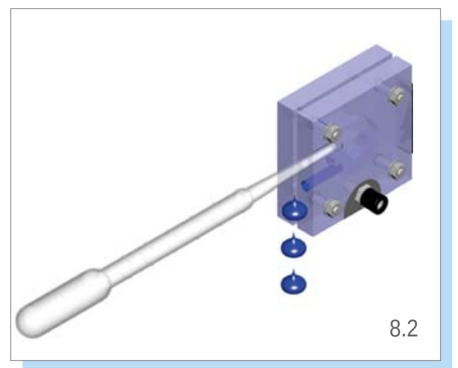
1. Setzen Sie die Methanol-Zelle und den Ventilator wie skizziert auf die Grundplatte.
2. Verbinden Sie den Ventilator mit Hilfe der Verbindungskabel mit den Anschlüssen an der DMFC-Zelle (**Abb. 8.1**). Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-").
3. Entfernen Sie vor Inbetriebnahme den Aufkleber „ Remove before use“ auf der Oberseite der Zelle. Die beiden Öffnungen auf der Oberseite dienen zum Befüllen und Entlüften der Zelle.

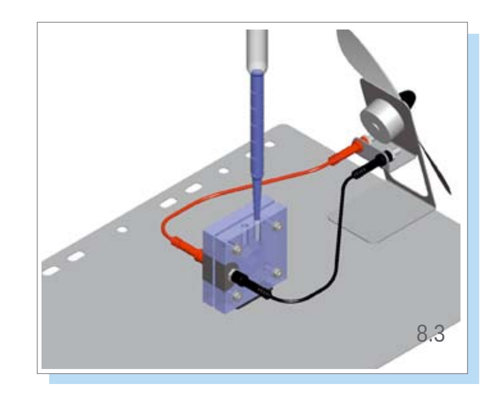
Bei trockener Zelle die folgenden Punkte überspringen und mit Punkt 6. fortfahren.

4. Um Wasser aus der Zelle zu entfernen, halten Sie die Zelle so, dass die Öffnungen übereinander liegen.
5. Drücken Sie Luft aus der Pipette in die obere Öffnung. Das Wasser fließt durch die untere Öffnung heraus (**Abb. 8.2**).

   Benutzen Sie dabei ein saugfähiges Einwegtuch und beachten Sie die Allgemeinen Sicherheitshinweise!
6. Ziehen Sie die Pipette mit 3 %iger Methanollösung auf und befüllen Sie damit die Zelle durch eine der oberen Öffnungen. Die Luft entweicht durch die andere Öffnung (**Abb. 8.3**).
7. Nach ca. fünf Minuten liefert die Zelle eine elektrische Leistung. Sie arbeitet nun für ca. drei Stunden. Bei ausgetrockneter Zelle kann die Anlaufzeit bis zu einer Stunde betragen.
8. Wenn die Zelle keinen Strom mehr erzeugt, ist das Methanol verbraucht. Entfernen Sie das verbliebene Wasser und befüllen Sie die Zelle erneut mit Methanollösung nach den Anweisungen der Punkte 5. bis 8.


8.1


8.2


8.3

Zelle entleeren

1. Nach Ende des Versuchs ziehen Sie die Pipette mit destilliertem Wasser auf.
2. Halten Sie die Zelle über einen Ausguss und befüllen die Zelle mit destilliertem Wasser. Die Methanollösung wird verdrängt und läuft heraus.
3. Soll das Modell längere Zeit nicht benutzt werden, spülen Sie es mit destilliertem Wasser und verschließen Sie die obere Öffnung mit dem mitgelieferten Aufkleber, damit die Zelle nicht so schnell austrocknet.

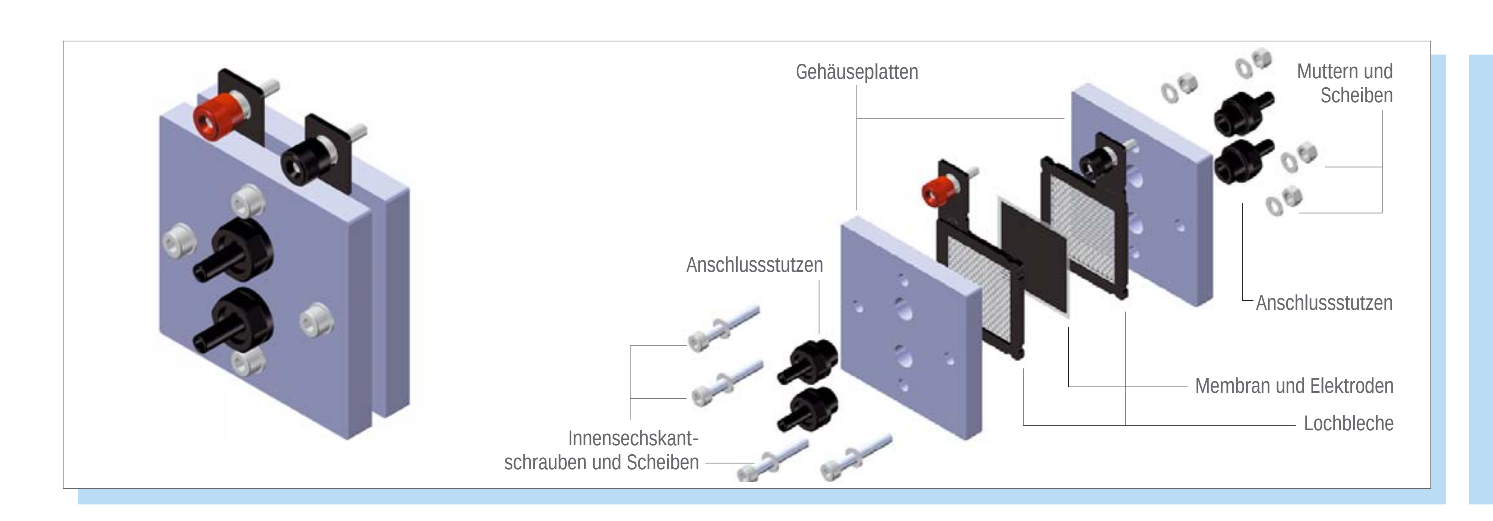


Versuch 9: Zerlegbare Brennstoffzelle

Übersicht

Ziel des Versuchs ist es, eine Brennstoffzelle zu zerlegen und aus Einzelkomponenten wieder zusammenzubauen, um im praktischen Beispiel den inneren Aufbau nachzuvollziehen.

Versuchslänge: ca. 10 Minuten



Geräte und Material

Für den Versuch benötigen Sie:

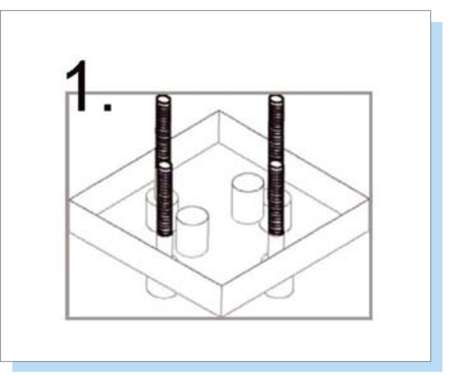
- 1x zerlegbare Brennstoffzelle
- 1x Werkzeug

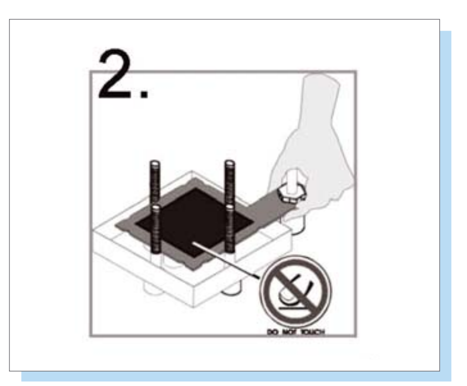
Demontage

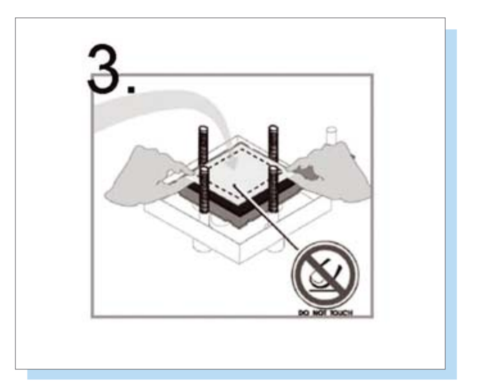
Die Brennstoffzelle PEMFC Kit ist komplett zerlegbar. Beachten Sie hierbei bitte, dass die Polymerelektrolytmembran und die Elektroden sehr empfindliche Bauteile sind. Sie können aus der Zelle ausgebaut und den Schülern gezeigt werden. Wir raten jedoch dringend davon ab, diese Bauteile in der Klasse herumzugeben.

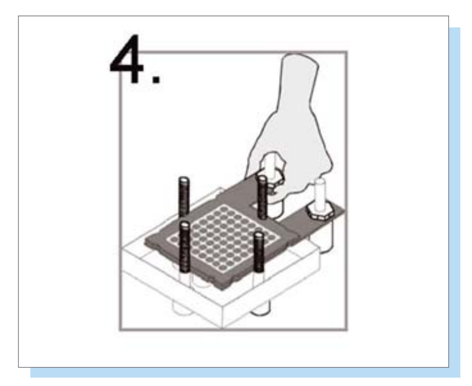
1. Lösen Sie die vier Muttern und entfernen Sie die vier Innensechskantschrauben, die die Zelle zusammenhalten.
2. Nehmen Sie die Zelle auseinander. Sie erhalten zwei Gehäuseplatten mit daran haftenden Stromabnehmern (=Lochbleche + Elektroden) und protonenleitfähiger Membran.
3. Ziehen Sie vorsichtig die Stromabnehmer mit der Membran von den Gehäuseplatten.
4. Ziehen Sie vorsichtig die Membran ab. Die Elektroden können auf den Lochblechen verbleiben.
5. Schrauben Sie die Anschlussstutzen aus den Gehäuseplatten.

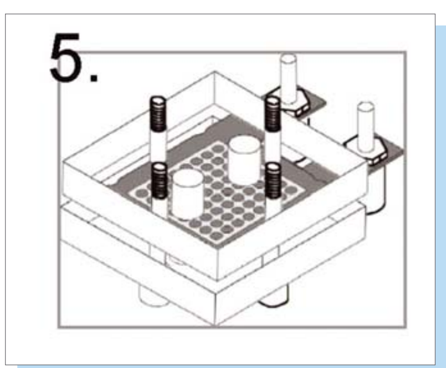
<u>Achtung:</u>
Die Bauteile können leicht beschädigt werden. Beim Entfernen der Elektroden und späterem Wiedereinbau ist auf die Einbaurichtung zu achten. Elektroden und Membran sind empfindlich gegen jede Art von Verunreinigungen, insbesondere Metallionen. Berührungen mit den Fingern sollten daher auf den Randbereich beschränkt bleiben.











Montage

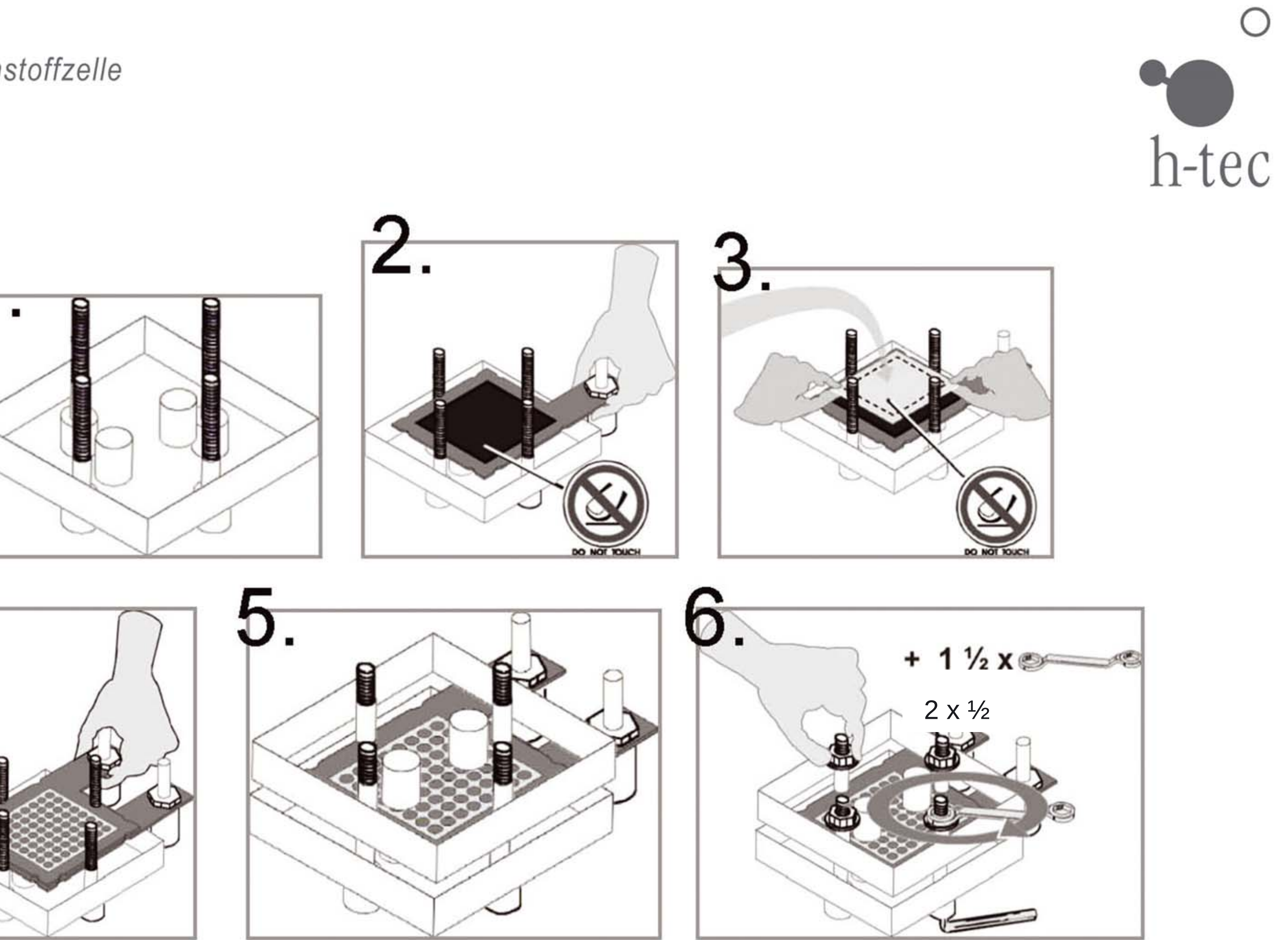
<u>Achtung:</u>
Vor dem Wiedereinbau muss die Membran mindestens 5 Minuten in destilliertem Wasser quellen. Legen Sie sie dazu in ein mit destiliertem Wasser gefülltes Becherglas.

1. Stecken Sie in eine Gehäuseplatte die vier Schrauben mit je einer Unterlegscheibe und drehen Sie sie anschließend so um, dass die Gehäuseplatte auf den Schraubenköpfen liegt (**Abb. 1**). Sind die Tüllen aus der Gehäuseplatte entfernt, kann dies auf einer ebenen Tischplatte erfolgen.
2. Legen Sie eines der Lochbleche auf das Plexiglasgehäuse. Hierbei muss die dickere Dichtungsseite zum Plexiglas zeigen. Die Elektrode zeigt nach oben (**Abb. 2**).
3. Falls die Elektrode vom Lochblech entfernt wurde: Legen Sie die Elektrode auf das Lochblech. Hierbei ist unbedingt auf die richtige Seite zu achten! Auf der zum Lochblech zeigenden Seite ist das Muster des Blechs zu erkennen. Diese Seite muss wieder zum Lochblech zeigen. Achten Sie darauf, die Elektrode zentriert aufzulegen.
4. Nehmen Sie die Membran aus dem destillierten Wasser und legen Sie sie nass auf eine der Elektroden. Fassen Sie hierzu die Membran an zwei gegenüberliegenden Ecken an. Durch die Feuchtigkeit werden Membran und Elektrode in ihrer Lage fixiert (**Abb. 3**).
5. Falls die Elektrode vom Lochblech entfernt wurde: Legen Sie die zweite Elektrode auf. Das Lochblechmuster auf der Elektrode muss zum noch aufzulegenden Lochblech zeigen. Die beiden Elektroden sollten deckungsgleich liegen. Die zweite Elektrode darf beim Aufsetzen des Blechs nicht in den Dichtungsbereich ragen.
6. Legen Sie das zweite Lochblech auf. Hierbei muss die dickere Dichtungsseite zum noch fehlenden Plexiglasgehäuse zeigen (**Abb. 4**).
7. Setzen Sie das Plexiglasgehäuse auf die Schrauben (**Abb. 5**).
8. Stecken Sie die verbliebenen Unterlegscheiben und Muttern auf die Schrauben und ziehen Sie die Muttern zunächst fingerfest an.
9. Ziehen Sie die Muttern abwechselnd immer ein Stück (max. ½ Umdrehung) fester an, bis der Abstand <u>zwischen</u> den Plexiglasplatten 4,0 mm beträgt.

<u>Achtung:</u>
Zu starkes Anziehen kann zu Beschädigungen an den Elektroden führen. Wir empfehlen den Abstand mit einem Messschieber zu kontrollieren. Sollte kein Messschieber oder ein ähnliches Messwerkzeug vorhanden sein, so ziehen Sie bitte die Muttern 2 mal etwa ½ Umdrehung an.

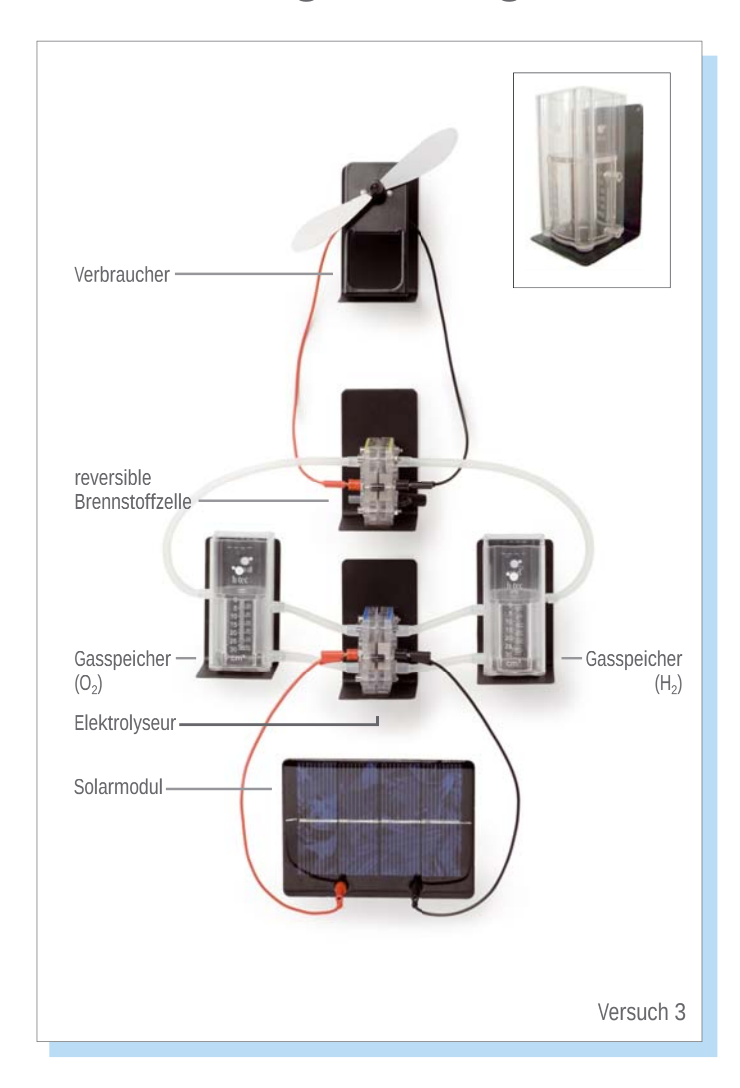
10. Schrauben Sie die Anschlussstutzen in die vier Öffnungen der Gehäuseplatten.

h-tec



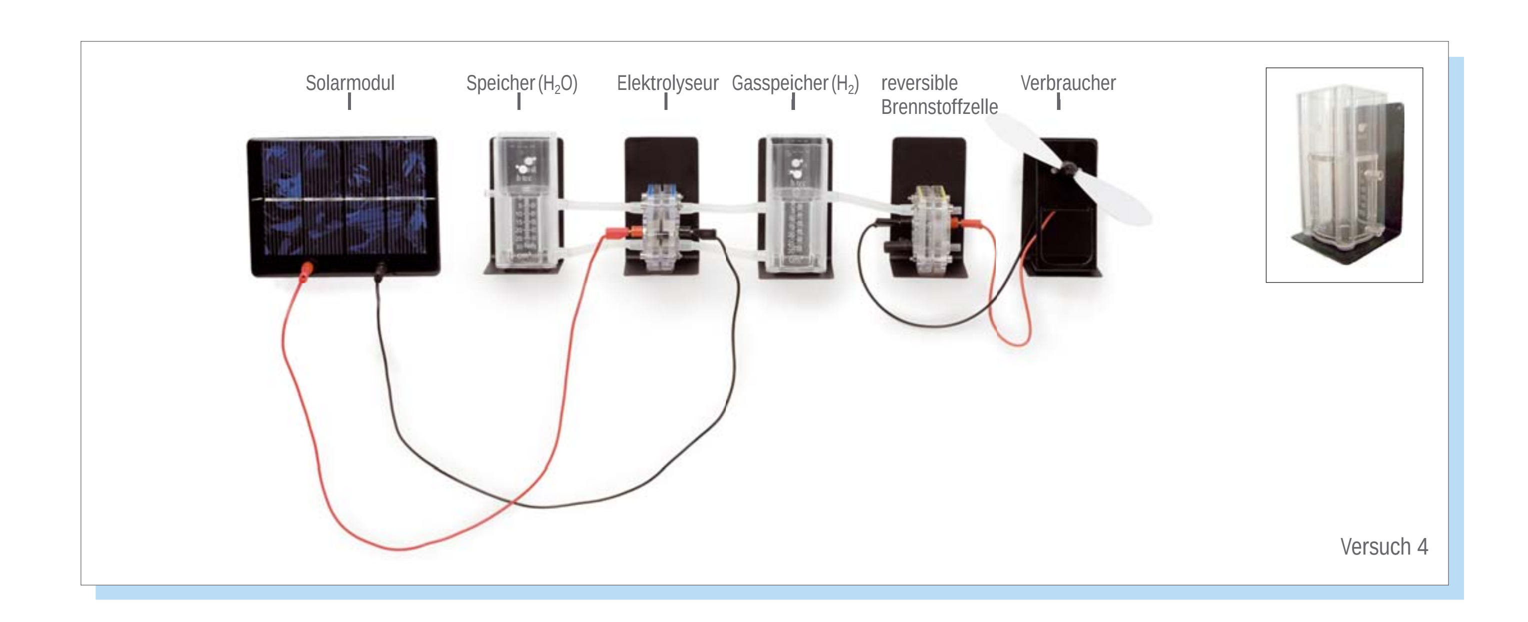


Verwendung der magnetischen Wandhalter



Versuch 3

Die Versuche 3 (Solar-Wasserstoffsystem - H_2/O_2) und 4 (Solar-Wasserstoffsystem - H_2/Luft) können zu Demonstrationszwecken auch senkrecht an einer Metalltafel aufgebaut werden. Verwenden Sie hierzu die magnetischen Wandhalter. Beispielhafte Aufbauten entnehmen Sie den nebenstehenden Abbildungen.



Versuch 4

Technische Daten

Tutorial Student Set (T102)

Elektrolyseur:	5 cm^3/min H_2
	2,5 cm^3/min O_2
	1,16 W
Reversible Brennstoffzelle:	
Elektrolysemodus:	5 cm^3/min H_2
	2,5 cm^3/min O_2
	1,16 W
Brennstoffzellenmodus:	
H_2/O_2 Modus:	300 mW
H_2/Luft Modus:	100 mW
Gasspeicher:	30 cm^3 H_2; 30 cm^3 O_2
Solarmodul:	2,0 V / 600 mA
Batteriehalter:	4,5 VDC / 0,8 A
Steckernetzteil:	1,2 A
Verbraucher (Lüfter):	10 mW
Verbraucher (Auto):	150 mW
Kabellänge (einzeln):	250 mm
H x B x T:	140 x 450 x 380 mm
Gewicht:	3,5 kg

Tutorial Teacher Set (T103)

Elektrolyseur:	5 cm^3/min H_2
	2,5 cm^3/min O_2
	1,16 W
Reversible Brennstoffzelle:	
Elektrolysemodus:	5 cm^3/min H_2
	2,5 cm^3/min O_2
	1,16 W
Brennstoffzellenmodus:	
H_2/O_2 Modus:	300 mW
H_2/Luft Modus:	100 mW
Zerlegbare Brennstoffzelle:	
H_2/O_2 Modus:	600 mW
H_2/Luft Modus:	200 mW
Direkt-Methanol-Brennstoffzelle:	
Leistung:	10 mW
Gasspeicher:	30 cm^3 H_2; 30 cm^3 O_2
Solarmodul:	2,0 V / 600 mA
Batteriehalter:	4,5 VDC / 0,8 A
Steckernetzteil:	1,2 A
Verbraucher (Lüfter):	10 mW
Verbraucher (Auto):	150 mW
Kabellänge (einzeln):	250 mm
H x B x T:	140 x 450 x 380 mm
Gewicht:	3,9 kg



Fehlerquellen

Die reversible Brennstoffzelle hat im Brennstoffzellenmodus nur eine geringe Leistung.

Ursache:

- Die Zelle wurde sehr lange oder zu trocken gelagert. Eine Zelle mit trockener Membran verliert an Leistung.

Lösung:

- Den Betrieb fortsetzen. Die Zelle befeuchtet sich während des Betriebs und findet so langsam zur vollen Leistungsfähigkeit zurück.

Trotz vorhandenem Wasserstoff funktioniert der an der reversiblen Brennstoffzelle angeschlossene Verbraucher (z.B. der Motor) nicht.

Ursache 1:

- Im Brennstoffzellenbetrieb ist Wasser (z.B. über die Speicher) in die reversible Brennstoffzelle gelangt. Dies kann zu einem rapiden Leistungsabfall führen.

Lösung 1:

- Trocknen Sie die Zelle, indem Sie die Anschlüsse der Brennstoffzelle öffnen und durchpusten.

Ursache 2:

- Beim Betrieb reversibler Brennstoffzellen ist es möglich, dass der vorangegangene Elektrolysemodus nicht lange genug durchgeführt wurde, so dass sich noch zu viel Wasser in der Zelle befindet.

Lösung 2:

- Trocknen Sie die Zelle, indem Sie die reversible Brennstoffzelle noch einmal in den Elektrolysemodus schalten bis die Elektrolyseleistung merklich absinkt.

Bei angeschlossener Solarzelle wird im Elektrolyseur oder an der reversiblen Brennstoffzelle im Elektrolysemodus kein Wasserstoff produziert.

Ursache:

- Die Lichtintensität reicht nicht aus.

Lösung:

- Überprüfen Sie die Leistungsangaben der Lichtquelle. Sie benötigen ausreichend Sonnenlicht oder Halogenlampen mit fokussiertem Licht wie h-tec Videolight oder h-tec Spotlight. Energiesparlampen, Leuchtstoffröhren etc. sind für den Betrieb von Solarmodulen ungeeignet.

Trotz korrekten Aufbaus funktioniert der Elektrolyseur oder die reversible Brennstoffzelle im Elektrolysemodus nicht.

Ursache:

- Sie haben kein destilliertes Wasser verwendet. Die Zelle ist irreparabel geschädigt.

Trotz korrekten Aufbaus funktioniert die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle nicht.

Ursache:

- Bei längerem Nichtgebrauch kann die Funktion als Direkt-Methanol-Brennstoffzelle nachlassen. Sollte sich nach mehrmaligem Befüllen mit ca. 3%iger Methanollösung nicht die gewünschte Leistung einstellen, empfehlen wir, die Zelle für 48 Stunden mit 1%iger Schwefelsäure und anschließend erneut mit ca. 3%iger Methanollösung zu befüllen.

  Beachten Sie unbedingt die stark ätzende Wirkung der Schwefelsäure! Tragen Sie Handschuhe und beachten Sie die auf der Flasche aufgebrachten Gefahrenhinweise sowie das zugehörige Sicherheitsdatenblatt.

Wartung

Brennstoffzellen des verwendeten Typs benötigen keine Wartung. Achten Sie aber auf folgende Punkte:

- Verwenden Sie für jeden Betrieb frisches, destilliertes Wasser.
- Nach dem Betrieb ist das Wasser aus den Speichern zu entfernen.

Bevor Sie die Zelle einlagern:

- Setzen Sie den Betrieb fort, bis der Verbraucher (z.B. der Motor) von selbst stoppt. Damit erreichen Sie, dass etwas Wasser in der Zelle verbleibt und die Membran befeuchtet.
- Schließen Sie die Verschlusskappen und den Stöpsel, so dass das Wasser in der Zelle nicht so schnell verdunstet.
- Wischen Sie die Grundplatte bzw. das Chassis trocken, um Wasserspuren zu vermeiden.
- Bei Methanol-Brennstoffzellen, die für längere Zeit nicht benutzt werden, entfernen Sie das restliche Methanol-Wasser-Gemisch durch Auskippen. Spülen Sie die Zelle mit destilliertem Wasser nach.